

Docket No. 826.1641 (JDH)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Masahira DEGUCHI

Serial No.: To be assigned

Filed: December 8, 2000

Group Art Unit: Unassigned

Examiner: Unassigned



For: **APPARATUS AND METHOD FOR OPTIMIZING THREE-DIMENSIONAL MODEL**

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN APPLICATION IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55

*Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231*

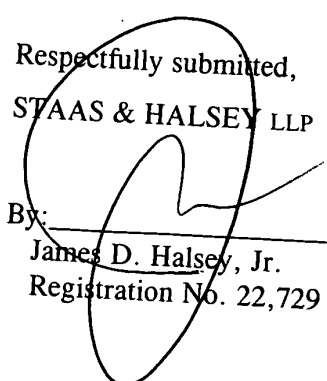
Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, the applicant submits herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 10-198453
Filed: July 14, 1998

It is respectfully requested that the applicant be given the benefit of the foreign filing date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,
STAAS & HALSEY LLP

By: 
James D. Halsey, Jr.
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500
Washington, D.C. 20001
(202) 434-1500
Date: December 8, 2000

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the following
application as filed with this Office.

Date of Application: July 14, 1998

Application Number: Patent Application
No. 10-198453

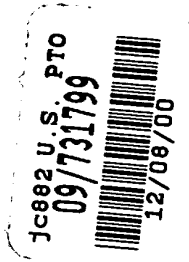
Applicant(s): FUJITSU LIMITED

October 13, 2000

Commissioner,
Patent Office Kozo Oikawa

Certificate No. 2000-3083992

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application:

1998年 7月14日

出願番号
Application Number:

平成10年特許願第198453号

出願人
Applicant(s):

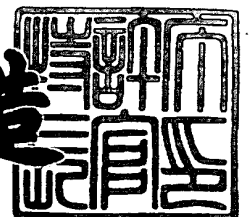
富士通株式会社



2000年10月13日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3083992

【書類名】 特許願

【整理番号】 9803540

【提出日】 平成10年 7月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 17/50

【発明の名称】 3次元モデルの最適化装置および方法

【請求項の数】 15

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 出口 全平

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100074099

 【郵便番号】 102

 【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大菅 義之

 【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】

 【識別番号】 100067987

 【郵便番号】 222

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区太尾町1418-305 (大倉山二番館)

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 久木元 彰

 【電話番号】 045-545-9280

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 3次元モデルの最適化装置および方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体の3次元モデルを構成する複数の形状から1つ以上の冗長な形状を検出する検出手段と、

前記1つ以上の冗長な形状に関する形状情報を削減する削減手段と、

残された形状情報を用いて、前記物体の3次元モデルを再構築する構築手段とを備えることを特徴とするモデル最適化装置。

【請求項2】 前記検出手段は、前記複数の形状から前記3次元モデルの外形に不要な形状を検出し、前記削減手段は、該不要な形状の形状情報を削除することを特徴とする請求項1記載のモデル最適化装置。

【請求項3】 前記検出手段は、外形情報が同じで互いに打ち消し合う2つの形状を検出し、前記削減手段は、該2つの形状を削除することを特徴とする請求項2記載のモデル最適化装置。

【請求項4】 前記検出手段は、外形情報が異なり互いに打ち消し合う2つの形状を検出し、前記削減手段は、該2つの形状を削除することを特徴とする請求項2記載のモデル最適化装置。

【請求項5】 前記検出手段は、前記複数の形状から1つの形状で表現できる2つ以上の形状を検出し、前記削減手段は、該2つ以上の形状の形状情報を1つの形状の形状情報に集約することを特徴とする請求項1記載のモデル最適化装置。

【請求項6】 前記検出手段は、断面形状情報が同じ2つの形状を検出し、前記削減手段は、該2つの形状のうち一方の形状情報を削除し、もう一方の形状情報を修正して、該2つの形状の形状情報を1つの形状の形状情報に集約することを特徴とする請求項5記載のモデル最適化装置。

【請求項7】 前記検出手段は、高さ情報が同じ2つの形状を検出し、前記削減手段は、該2つの形状のうち一方の形状情報を削除し、もう一方の形状情報を修正して、該2つの形状の形状情報を1つの形状の形状情報に集約することを特徴とする請求項5記載のモデル最適化装置。

【請求項 8】 前記検出手段は、配置面情報が同じで高さ情報が同じ 2 つ以上の形状を検出し、前記削減手段は、該 2 つ以上の形状のうちの 1 つの形状情報を修正し、他の形状情報を削除して、該 2 つ以上の形状の形状情報を 1 つの形状の形状情報に集約することを特徴とする請求項 5 記載のモデル最適化装置。

【請求項 9】 前記検出手段は、パターン形状として定義された 2 つ以上の形状を検出し、前記削減手段は、該 2 つ以上の形状のうちの 1 つの形状情報を修正し、他の形状情報を削除して、該 2 つ以上の形状の形状情報を 1 つの形状の形状情報に集約することを特徴とする請求項 5 記載のモデル最適化装置。

【請求項 10】 前記検出手段は、前記 1 つ以上の冗長な形状のうち削除すべき形状のリストを格納する削除対象格納手段と、該 1 つ以上の冗長な形状のうち修正すべき形状のリストを格納する修正対象格納手段とを含み、前記削減手段は、該削除すべき形状の形状情報を削除し、該修正すべき形状の形状情報を修正し、前記構築手段は、修正された形状情報と該 1 つ以上の冗長な形状以外の形状の形状情報とを用いて、前記 3 次元モデルを再構築することを特徴とする請求項 1 記載のモデル最適化装置。

【請求項 11】 前記削減手段は、削除された形状情報に含まれる頂点座標情報と高さ情報のうち少なくとも一方を用いて、前記修正すべき形状の形状情報を修正することを特徴とする請求項 10 記載のモデル最適化装置。

【請求項 12】 前記構築手段は、前記残された形状情報に含まれる配置基準情報を必要に応じて変更する手段を含み、変更された配置基準情報を用いて前記 3 次元モデルを再構築することを特徴とする請求項 1 記載のモデル最適化装置。

【請求項 13】 前記構築手段は、前記残された形状情報に含まれる配置基準情報に対応する擬似的な形状を生成する手段を含み、該配置基準情報を変更することなく、該擬似的な形状を用いて前記 3 次元モデルを再構築することを特徴とする請求項 1 記載のモデル最適化装置。

【請求項 14】 コンピュータのためのプログラムを記録した記録媒体であって、

物体の 3 次元モデルを構成する複数の形状から 1 つ以上の冗長な形状を検出す

るステップと、

前記 1 つ以上の冗長な形状に関する形状情報を削減するステップと、

残された形状情報を用いて、前記物体の 3 次元モデルを再構築するステップとを含む処理を前記コンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 15】 物体の 3 次元モデルを構成する複数の形状から 1 つ以上の冗長な形状を自動的に検出し、

前記 1 つ以上の冗長な形状に関する形状情報を自動的に削減し、

残された形状情報を用いて、前記物体の 3 次元モデルを自動的に再構築することを特徴とするモデル最適化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ソリッドモデル等の 3 次元形状モデルを扱うコンピュータシステムにおいて、モデルの最終形状（外形）を損なわない範囲で、そのデータ構造を自動的に最適化するモデル最適化装置およびその方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

3 次元 CAD (computer-aided design) システムを利用した製品設計業務において、1 回の設計で目標の仕様を達成するということは皆無に等しく、通常は、度重なる設計変更を経た後に設計完了となる。このとき、設計者にとっては、最終的な形状が仕様に適合していればよいので、3 次元形状モデルのデータ構造（モデル構造）については、特に意識していない。しかしながら、モデル構造は設計の過程に大きく依存し、設計変更が多いほど複雑になることが多い。

【0003】

物体の 3 次元形状を表現するためのモデルとしては、頂点と稜線（エッジ）を用いたワイヤーフレームモデルや、物体を表面形状で表現するサーフェスモデル、物体の外部と内部の区別を明確に表現するソリッドモデル等が用いられる。ソリッドモデルでは、四角柱や四角穴等の 3 次元の基本形状（プリミティブ）を組

み合わせて、物体の複雑な外形が表現される。ここでは、この基本形状を属性と呼ぶことにする。

【0004】

例えば、製品設計を行う際に、設計の過程で不要となった属性Aが発生したとする。このとき、この属性Aを参照している他の属性B、C、・・・が存在すると、属性Aを単独で削除したり修正したりすることはできず、属性B、C、・・・についても、それぞれ削除または修正の処理を行う必要がある。一般に、ソリッドモデルの各属性は、それよりも前に定義された属性を参照属性として定義される。

【0005】

ここで、設計者が修正を指定した場合は、各属性についてそれぞれデータ構造の再定義または修正を行うことになる。このとき、対象となる属性に関連している他の属性が数個程度であれば、あまり大きな問題は生じない。

【0006】

しかし、数百、数千の属性で構成されているソリッドモデルにおいて、初期の段階で定義された属性が削除対象となるような場合は、致命的な問題が発生する。この場合、削除対象の属性以降に定義された属性のほとんどが、その属性と関連性を持っているため、設計者は、それらのすべてを手作業で修正しなければならない。これには、膨大な時間と労力が必要である。

【0007】

このような場合、対象となる属性を削除するのではなく、新たに属性を追加することにより目的の形状が得られることもある。例えば、削除対象の属性が物体表面の穴を表す場合、その穴を埋める物体を新たに定義することで、穴を削除するのと同等の結果を得ることができる。また、逆に、削除対象の属性が物体表面のボス（突起）を表す場合、そのボスと同じ形状の穴を新たに定義することで、ボスを削除するのと同等の結果を得ることができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来のソリッドモデルによる設計には、次のような問題がある

【0009】

まず、削除対象の属性を新たな属性で埋め合せるような代替処理の積み重ねにより設計されたソリッドモデルには、実際の外形には必要のない冗長な属性が多数含まれている。このため、データ量が膨大となり、外形の表示や再生（再構築）・修正といった各種処理に対する応答が非常に悪くなる。

【0010】

また、属性間の関連性の影響で、希望する属性のみを削除または修正することが難しく、ソリッドモデルの編集の自由度が極めて低い。ソリッドモデルを類似設計や構造解析のために利用する場合は、その編集自由度の低さに加えて、設計者以外の第三者が作業することが多く、作業者がモデル構造や関連性を理解していないという問題も発生する。このため、ソリッドモデルを修正するのに膨大な時間を必要とし、時にはソリッドモデルを新規に作り直さなければならず、既存のソリッドモデルを有効に活用しているとは言い難い。

【0011】

次に、このようにして設計されたソリッドモデルを、有限要素法を用いた構造解析に利用する場合を考えてみる。この場合、ソリッドモデルをメッシュ分割する必要があるが、既存の自動メッシュ分割機能を利用して分割しようとする、うまくいかないことが多々ある。

【0012】

これは、上述のような属性追加により削除対象の属性を覆い隠している箇所が原因である場合が多い。削除対象の属性を埋めるために、同一の形状の新たな属性を追加したとしても、その端点では微妙な形状のずれが生じている可能性があるためである。単純な形状や平面上の形状であれば問題ないが、複雑な形状や曲面上にある形状の場合には、計算精度の影響で、削り残し、エッジ端点のずれ等の極微小な予期せぬ形状が生成される。この微小形状が原因で、メッシュ分割が成功しないのである。

【0013】

このような時は、この微小形状を削除または修正しなければならず、膨大な時

間と労力を必要とする。また、微小形状をそのままにしておいて、たとうまくメッシュ分割できたとしても、分割結果には微小形状が大量に含まれてしまい、解析に使えないことが多い。

【0014】

本発明の課題は、3次元モデルの構造を最適化して、データ量が小さく編集自由度が高いモデルを生成するモデル最適化装置およびその方法を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

図1は、本発明のモデル最適化装置の原理図である。図1のモデル最適化装置は、検出手段1、削減手段2、および構築手段3を備える。

【0016】

検出手段1は、物体の3次元モデルを構成する複数の形状から1つ以上の冗長な形状を検出し、削減手段2は、検出された1つ以上の冗長な形状に関する形状情報を削減する。構築手段3は、残された形状情報を用いて、物体の3次元モデルを再構築する。

【0017】

例えば、物体の3次元モデルは3次元ソリッドモデルに対応し、それを構成する形状は前述した属性に対応する。また、1つ以上の冗長な形状には、3次元モデルの外形に不要な形状や、1つの形状で表現できる2つ以上の形状が含まれ、検出手段1は、それらの形状を自動的に検出する。削減手段2は、不要な形状の形状情報を削除し、2つ以上の形状の形状情報を1つの形状の形状情報に集約して、3次元モデルの形状情報を自動的に削減する。

【0018】

この形状情報は、例えば、3次元モデルに含まれる各形状の識別情報、頂点座標情報、配置位置情報、定義情報等を含み、各形状の外形、断面形状、高さ、位置、タイプ（物体の内部と外部の区別）等を表現している。構築手段3は、削除されなかった元の形状情報と集約された形状情報とを用いて、物体の3次元モデルを新たに構築する。

【0019】

このようなモデル最適化装置によれば、3次元モデルの外形を損なうことなく、それに含まれる冗長な形状が削除／集約されて、3次元モデルのデータ構造が自動的に圧縮される。また、冗長な形状が削除／集約されることで、3次元モデルの設計変更やメッシュ分割が容易となり、その編集自由度が向上する。

【0020】

例えば、図1の検出手段1は、後述する図2の不要属性検出部12および記憶部13に対応し、図1の削減手段2および構築手段3は、図2の構造最適化部14および演算部15に対応する。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

本発明のモデル最適化装置は、冗長な属性を検出／削減すると同時に、属性間の関連性を解除／再構築して、3次元モデルのデータ構造の最適化編集を行う。そのため、モデル最適化装置は、次のような処理を自動的に行う。

- (1) 外形に不必要な形状の検出／削除。
- (2) 同じ形状の繰り返しに対応するパターン属性の検出／1つの属性への変更。
- (3) 必要であれば、属性の配置の基準位置（配置基準）を、よりデータ量の少ない代替属性（作業面、曲線等）に変更。
- (4) ソリッドモデル最構築。

【0022】

これにより、次のような効果が得られる。

- (1) 属性間の関連性の少ない修正容易なソリッドモデルの提供（類似設計等への活用）。
- (2) 構造解析における解析モデル等へのソリッドモデルの有効活用。
- (3) ソリッドモデルのデータ量の削減。
- (4) ソリッドモデルの表示や修正に要する演算時間の短縮。

【0023】

図2は、モデル最適化装置の構成図である。図2のソリッドモデル最適化装置11は、不要属性検出部12、記憶部13、構造最適化部14、および演算部15を備え、与えられたソリッドモデルデータ21を最適化して、最適化ソリッドモデルデータ24を出力する。

【0024】

まず、不要属性検出部12は、ソリッドモデルデータ21を取り込み、以降の処理を高速化するため、それを記憶部13に格納しておく。また、不要属性検出部12は、あらかじめ決められたアルゴリズムで各属性を順次チェックし、属性間の特定の関係を検出して、削除対象リスト22と修正対象リスト23を記憶部13内に作成する。削除対象リスト22には、削除すべき属性のリストが保持され、修正対象リスト23には、修正すべき属性のリストが保持される。

【0025】

不要属性検出部12による処理が終了すると、構造最適化部14が起動され、記憶部13に保持されているソリッドモデルデータ21を順次再生していく。ここで、再生とは、ソリッドモデルデータ21に適当な修正を施して、モデルを再構築することを意味する。

【0026】

このとき、構造最適化部14は、削除対象リスト22と修正対象リスト23を参照しながら、必要な属性だけを再生する。削除される属性の影響で配置位置や形状が不明となる属性については、それらの配置位置や形状の計算を演算部15に依頼し、計算結果に基づいて再生する。そして、得られた最適化ソリッドモデルデータ24を出力する。

【0027】

図3は、物体の一部として定義された属性の例を示している。図3において、四角柱25は、既存の形状26の上面Fを配置面とするボスとして生成され、各頂点の座標、高さh、配置面F上での位置、属性のタイプ、生成方法等の情報を含む。ここでは、配置面F上の4つの頂点v1、v2、v3、およびv4により構成される四角形が、四角柱25の断面形状を表す。

【0028】

また、図4は、物体の外部として定義された属性の例を示している。図4において、四角穴27は、既存の形状28の上面Fを配置面とする穴として生成され、図3の四角柱25と同様に、各頂点の座標、高さh、配置面F上での位置、属性のタイプ、生成方法等の情報を含む。ここでは、高さhは負の値で定義され、その絶対値|h|が穴の深さを表す。以下では、高さhは、物体の高さまたは穴の深さを表すものとする。また、配置面F上の4つの頂点v5、v6、v7、およびv8により構成される四角形が、四角穴27の断面形状を表している。

【0029】

また、図5は、ソリッドモデルデータ21に含まれる各属性のデータ構造を示している。ソリッドモデルデータ21は、属性番号を識別情報として、各属性の頂点座標、配置位置、および定義情報の各データを含む。

【0030】

属性番号は、属性の作成順に3次元CADにより自動的に付与され、頂点座標は、属性を構成しているすべての頂点の座標値を表す。これらの頂点の座標値は、主として、属性の断面形状を表すために用いられる。また、配置位置は、ソリッドモデル上で属性が配置されている位置を表し、配置面の情報や配置面上での位置情報を含む。また、定義情報は、属性のタイプ、生成方法、生成に必要なパラメータ等の情報を含む。例えば、図3、4の高さhは、断面形状に垂直な方向のパラメータに対応する。

【0031】

このようなソリッドモデルデータ21に基づいて不要属性検出部12が検出する属性間の関係としては、図6から図10までに示すように、設計の過程で生成された様々な冗長性が挙げられる。

【0032】

図6は、既に定義済みの穴31に対して、同じ外形の物体32を追加して、穴31を埋め込んだ例を示している。このような場合、穴31と物体32は互いに打ち消し合う二重属性となり、どちらもソリッドモデルの外形に寄与していない。したがって、これらの属性は不要である。定義済みの物体に対して、同じ形状の穴を追加して、物体をカットした場合も、両者の属性は不要となる。

【0033】

また、図7は、定義済みの穴31に対して、同じ断面形状を持つ物体33を追加して、穴31の深さを変更した例を示している。このような場合、変更された穴は1つの属性で表すことができ、穴31と物体33は冗長な二重属性となる。定義済みの物体に対して、同じ断面形状を持つ穴を追加して、物体の高さを変更した場合も、両者の属性は冗長となる。

【0034】

また、図8は、定義済みの穴31に対して、その深さと同じ高さを持ち、より小さな断面形状を持つ物体34を追加して、穴31の断面形状を変更した例を示している。この場合も、変更された穴は1つの属性で表すことができ、穴31と物体34は冗長な二重属性となる。定義済みの物体に対して、その高さと同じ深さを持ち、より小さな断面形状を持つ穴を追加して、物体の断面形状を変更した場合も、両者の属性は冗長となる。

【0035】

また、図9は、定義済みの穴31に対して、その深さと同じ高さを持ち、より大きな断面形状の物体35を追加して、穴31を埋め込んだ例を示している。このような場合、穴31と物体35の外形は異なるが、図3の場合と同様に、穴31と物体35は互いに打ち消し合う二重属性となり、どちらもソリッドモデルの外形に寄与していない。したがって、これらの属性は不要である。定義済みの物体に対して、その高さと同じ深さを持ち、より大きな断面形状の穴を追加して、物体をカットした場合も、両者の属性は不要となる。

【0036】

また、図10は、同一配置面36上に定義された高さが同じ複数の物体37、38、39を示している。このような場合、物体37、38、39は、断面形状が同じであるかどうかに関わらず、1つの属性で表すことができ、これらの複数の属性は冗長である。同一配置面上に定義された深さが同じ複数の穴の場合も、それらの属性は冗長となる。

【0037】

また、複数の属性が同じ形状を持つ場合、しばしば、それらはパターン属性と

して定義される。パターン属性とは、既存の属性の形状と配置位置を用いて、それを自動的に複製または数式化することにより、新規に定義される属性を表す。これらの複数の属性は一度に定義することができるが、同じ形状を表しているため、1つの属性で表すこともできる。したがって、これらの複数の属性は冗長である。

【0038】

図11および図12は、このような冗長な属性を検出する不要属性検出部12の処理のフローチャートである。まず、不要属性検出部12は、定義された属性番号順にソリッドモデルデータ21を取り込み（図11、ステップS1）、各属性の頂点座標、配置位置、および定義情報を抽出して、頂点座標データ41、配置位置データ42、および定義情報データ43のデータテーブルファイルを作成する（ステップS2）。

【0039】

次に、これらのデータテーブルを参照しながら、削除可能または集約可能な属性の検出処理を行う。まず、読み込んだ属性nがパターン属性であるかどうかを判定する（ステップS3）。そして、属性nがパターン属性であれば、その情報を修正対象リスト23に出力して、属性nが最終属性かどうかを判定する（図12、ステップS12）。それが最終属性でなければ、nをインクリメントして（図11、n++）、次の属性n+1に関する処理に移る。

【0040】

属性nがパターン属性でなければ、次に、既に読み込まれた上位属性の中に、属性nの各頂点座標と完全に一致する頂点座標を持つものがあるかどうかを判定する（ステップS4）。そして、そのような上位属性があれば、その上位属性と属性nは図6のような関係にあるものとみなし、それらの情報を削除対象リスト22に出力して、ステップS12以降の処理を行う。

【0041】

そのような上位属性がなければ、次に、上位属性の中に属性nの断面形状と一致する断面形状を持つものがあるかどうかを判定する（ステップS5）。そして、そのような上位属性があれば、その上位属性と属性nは図7のような関係にあ

るものとみなし、属性 n の情報を削除対象リスト 22 に出力し、上位属性の情報を修正対象リスト 23 に出力して、ステップ S12 以降の処理を行う。

【0042】

そのような上位属性がなければ、次に、上位属性の中に属性 n と配置面が同じものがあるかどうかを判定する（図 12、ステップ S6）。そのような上位属性があれば、次に、その上位属性の定義情報と属性 n の定義情報が完全に一致するかどうかを判定する（ステップ S7）。

【0043】

それらが一致すれば、その上位属性と属性 n は図 10 のような関係にあるものとみなし、属性 n の情報を削除対象リスト 22 に出力し、上位属性の情報を修正対象リスト 23 に出力して、ステップ S12 以降の処理を行う。このとき、修正対象リスト 23 に出力される上位属性の情報には、属性 n の断面形状の情報も追加される。

【0044】

ステップ S6 で対応する上位属性がない場合、または、ステップ S7 で両者の定義情報が一致しない場合は、次に、属性 n の配置面形状内に断面形状が完全に収まるかどうかを判定する（ステップ S8）。配置面形状内に断面形状が収まれば、次に、その配置面を含む上位属性の高さと属性 n の高さを比較する（ステップ S9）。

【0045】

それらの絶対値が同じで符号が逆であれば、その上位属性と属性 n は図 8 のような関係にあるものとみなし、属性 n の情報を削除対象リスト 22 に出力し、上位属性の情報を修正対象リスト 23 に出力して、ステップ S12 以降の処理を行う。このとき、修正対象リスト 23 に出力される上位属性の情報には、属性 n の断面形状の情報も追加される。

【0046】

ステップ S8 で配置面形状内に断面形状が収まらない場合、または、ステップ S9 で両者の高さが上述のような関係にない場合は、次に、属性 n の配置面形状を断面形状が完全に取り囲むかどうかを判定する（ステップ S10）。配置面形

状を断面形状が取り囲んでいれば、次に、その配置面を含む上位属性の高さと属性 n の高さを比較する（ステップ S 1 1）。それらの絶対値が同じで符号が逆であれば、その上位属性と属性 n は図 9 のような関係にあるものとみなし、それらの情報を削除対象リスト 2 2 に出力して、ステップ S 1 2 以降の処理を行う。

【0047】

ステップ S 1 0 で配置面形状を断面形状が取り囲まない場合、または、ステップ S 1 1 で両者の高さが上述のような関係にない場合は、ステップ S 1 2 以降の処理を行う。そして、ステップ S 1 2 で属性 n が最終属性となれば、処理を終了する。

【0048】

このような処理により、削除すべき冗長属性の情報は削除対象リスト 2 2 に集められ、修正すべき冗長属性の情報は修正対象リスト 2 3 に集められる。構造最適化部 1 4 は、これらのリストを用いて、最適化ソリッドモデルデータ 2 4 を作成する。

【0049】

図 1 3 は、構造最適化部 1 4 の処理のフローチャートである。まず、構造最適化部 1 4 は、属性番号順にソリッドモデルデータ 2 1 を取り込み（ステップ S 2 1）、削除対象リスト 2 2 を参照して、取り込んだ属性 n が記載されているかどうかを判定する（ステップ S 2 2）。属性 n が削除対象リスト 2 2 に記載されていれば、それは再生しないものとみなし、次の属性 $n + 1$ に関する処理に移る。

【0050】

属性 n が削除対象リスト 2 2 に記載されていなければ、次に、修正対象リスト 2 3 を参照して、属性 n が記載されているかどうかを判定する（ステップ S 2 3）。属性 n が修正対象リスト 2 3 に記載されていれば、記載情報をもとに断面形状・配置位置等を計算し（ステップ S 2 4）、修正された情報に基づいて再生する（ステップ S 2 5）。

【0051】

また、属性 n が修正対象リスト 2 3 に記載されていなければ、そのまま取り込んだ情報に基づいて再生する（ステップ S 2 5）。このとき、削除された属性と

の関連性の影響により、そのままでは再生できない可能性もある。その場合は、後述するように、属性間の関連性を適当に解除して、属性を再生すればよい。

【0052】

次に、属性 n が最終属性かどうかを判定する（ステップ S26）。それが最終属性でなければ、次の属性 $n+1$ に関する処理に移り、最終属性であれば、処理を終了する。最終的に再生された属性の集合が、最適化ソリッドモデルデータ 24 として出力される。

【0053】

このような処理により、不要な冗長属性を含む大量の属性により定義されたソリッドモデルを、外形に必要な属性だけを用いて自動的に再構築することが可能になる。また、ソリッドモデルの再構築時に、不要な属性を削除したり、複数の属性を 1 つの属性に集約したりすることにより、ソリッドモデルのデータ量が削減され、扱い易くなる。さらに、属性間の関連性を解除することにより、ソリッドモデルの編集自由度が高くなる。

【0054】

次に、図 14 に示すソリッドモデルの具体例を用いて、それを最適化する処理を説明する。図 14 のソリッドモデルは、次のような各属性から成り、最適化前のソリッドモデルデータは、図 15 に示すようになる。

【0055】

属性 [1] : ベース

属性 [2] : 四角穴（斜線部）

属性 [3] : 4 つののボス

属性 [4] : 四角柱（斜線部）

属性 [5] : 四角穴

属性 [6] : 四角柱

このソリッドモデルでは、設計変更時に属性 [2] の穴を削除しようとしたが、属性 [3] が属性 [2] を配置基準として参照している関係で、単独では削除できないことが分かった。このため、新たに属性 [4] を追加して、属性 [2] の穴を塞いでいる。

【0056】

図15において、番号は、3次元CADにより自動的に付与された属性番号に対応し、図14では、[n]のように記されている。また、項目は、図5の構造に対応し、データは、各項目のデータを表す。

【0057】

まず、属性[1]の頂点座標データは、ベースの形状(直方体)を構成している8つの頂点の座標値{(x1, y1, z1), (x2, y2, z2), (x3, y3, z3), (x4, y4, z4), (x5, y5, z5), (x6, y6, z6), (x7, y7, z7), (x8, y8, z8)}を表し、このうち、{ }内の4つの頂点が、XY平面に平行な平面で属性[1]を切断したときの断面形状を構成している。

【0058】

また、属性[1]は最初に作成された属性であるため、その配置位置データは存在しない。属性[1]の定義情報データは、タイプが押し出しであり、生成方法が高さhを押し出し量のパラメータとする押し出しであることを表している。ここで、押し出しとは、頂点座標により定義された断面形状を、Z軸方向に高さhだけスライドさせることにより生成された物体、またはその生成方法を表す。

【0059】

次に、属性[2]の頂点座標データは、直方体を構成している8つの頂点の座標値を表し、このうち、{ }内の4つの頂点が、配置面である属性[1]の上面F1における断面形状を構成している。

【0060】

また、属性[2]の配置位置データのうち、“1:F1”は、属性[1]の面F1が配置面であることを表し、“1:E1-25”は、属性[1]のエッジE1からの距離が25であることを表し、“1:E2-25”は、属性[1]のエッジE2からの距離が25であることを表す。

【0061】

このように、配置位置データは、配置基準となる他の属性を指定する属性番号を含んでおり、この場合、属性[1]と属性[2]は親子関係にあると言える。

他の属性の配置位置データも、同様に、基準となる親属性の属性番号を含んでいる。

【0062】

また、属性[2]の定義情報データは、タイプがカットであり、生成方法が高さ h を押し出し量のパラメータとする押し出しであることを表している。ここで、カットとは、頂点座標により定義された断面形状を、Z軸方向に高さ h （ここでは、深さに相当）だけスライドさせることにより生成された穴を表す。以後、高さ h が負の値の場合は、Z軸の負の方向への押し出しを意味するものとする。

【0063】

次に、属性[3]では、4つの円柱の断面形状である円の中心を頂点として扱い、その頂点座標データは、円の中心の座標値と半径を表している。各円柱は、 $\{(x_1, y_1, z_1) \ r\} (x_2, y_2, z_2)$ のように記述され、 $\{ \}$ 内の座標値 (x_1, y_1, z_1) が配置面である属性[1]の上面における円の中心を表し、 r が円の半径を表す。また、座標値 (x_2, y_2, z_2) は円柱の上面における円の中心を表す。

【0064】

また、属性[3]の配置位置データのうち、“1:F1”は、属性[1]の面F1が配置面であることを表し、“2:E1-12.5”は、属性[2]のエッジE1からの距離が12.5であることを表し、“2:E2-12.5”は、属性[2]のエッジE2からの距離が12.5であることを表す。このように、属性[3]は、2つの属性[1]および[2]を配置基準として参照している。属性[3]の定義情報データについては、属性[1]と同様である。

【0065】

次に、属性[4]の頂点座標データは、直方体を構成している8つの頂点の座標値を表している。この頂点座標データは、属性[2]の頂点座標データと一致していることが分かる。

【0066】

また、属性[4]の配置位置データのうち、“1:F2”は、属性[1]の底面F2が配置面であることを表し、“1:E5-25”は、属性[1]のエッジ

E5からの距離が25であることを表し、“1:E6-25”は、属性[1]のエッジE6からの距離が25であることを表す。

【0067】

また、属性[4]の定義情報データは、タイプが押し出しであり、生成方法が高さhを押し出し量のパラメータとする押し出しであることを表している。このうち、タイプは属性[2]と異なり、物体の内部であることを表している。また、生成方法は、属性[2]と同じであり、高さhは、属性[2]の高さと絶対値が同じで符号が逆になっている。これは、属性[2]と配置面が異なっていることと対応している。

【0068】

属性[2]と属性[4]の各データを比較すると、これらの属性は互いに打ち消し合う関係にあり、ソリッドモデルの外形には寄与していないことが分かる。したがって、これらは削除可能な属性である。

【0069】

次に、属性[5]の頂点座標データは、直方体を構成している8つの頂点の座標値を表し、このうち、{ }内の4つの頂点が、配置面である属性[1]の上面における断面形状を構成している。

【0070】

また、属性[5]の配置位置データのうち、“1:F1”は、属性[1]の面F1が配置面であることを表し、“1:E1-125”は、属性[1]のエッジE1からの距離が125であることを表し、“1:E2-25”は、属性[1]のエッジE2からの距離が25であることを表す。属性[5]の定義情報データについては、属性[2]と同様である。

【0071】

次に、属性[6]の頂点座標データは、直方体を構成している8つの頂点の座標値を表し、このうち、{ }内の4つの頂点が、配置面である属性[5]の底面における断面形状を構成している。

【0072】

また、属性[6]の配置位置データのうち、“1:F1”は、属性[5]の面

F1が配置面であることを表し、“1:E1-10”は、属性[1]のエッジE1からの距離が10であることを表し、“1:E2-10”は、属性[1]のエッジE2からの距離が10であることを表す。

【0073】

属性[6]の定義情報データについては、属性[1]と同様である。属性[5]と属性[6]は、図8のような関係にあるため、1つの属性に集約することが可能である。

【0074】

この例では、属性のタイプとして押し出しとカットを用いており、生成方法として押し出しを用いているが、他の任意のタイプと生成方法も同様に定義することができる。

【0075】

例えば、前述のような一連のパターン属性の場合は、そのタイプはパターンと記述され、パターン数、パターン方向、およびパターン増分値がパラメータとして設定される。パターン数は、同じグループに属するパターン属性の総数を表し、グループ内で最初に生成されたパターン属性に設定される。また、パターン方向は、パターン属性を複製する方向を表し、パターン増分値は、パターン属性間の間隔を表す。また、生成方法として、回転を用いた場合は、そのパラメータとして回転角が設定される。

【0076】

不要属性検出部12は、このソリッドモデルデータから、図16のような削除対象リストと図17のような修正対象リストを作成する。削除対象リストには、属性[2]、[4]、[6]のデータテーブルが含まれ、修正対象リストには、属性[6]の削除に伴って、その頂点座標データが属性[5]の追加頂点データとして記述されている。追加頂点データは、他の属性に集約される属性の頂点の座標値を表す。

【0077】

ここで、図18から図22までのフローチャートを参照しながら、不要属性検出部12による不要属性の検出処理についてより詳細に説明する。まず、不要属

性検出部12は、 $n=1$ とにおいて（ステップS30）、属性番号順にソリッドモデルのデータテーブルを読み込み（ステップS31）、属性 n の頂点座標データ n 、配置位置データ n 、定義情報データ n を抽出して、それぞれ、一時データバッファ51、52、53に格納する（ステップS32）。

【0078】

次に、定義情報データ n を参照して、属性 n のタイプを取得し（ステップS33）、それがパターン属性に対応するかどうかを判定する（ステップS34）。属性 n がパターン属性であれば、定義情報データ n からパターン数、パターン方向、およびパターン増分値を取得し（ステップS35）、 $a=n$ とおき（ステップS36）、 $n=n+1$ とおく（ステップS37）。

【0079】

そして、 n と $a + (\text{パターン数} - 1)$ の値を比較する（ステップS38）。ここで、 $a + (\text{パターン数} - 1)$ は、属性 a と同じグループに属する最後のパターン属性の属性番号に対応する。

【0080】

$n \leq a + (\text{パターン数} - 1)$ であれば、属性 n はグループ内の属性であるから、頂点座標データ n を属性 a の追加情報として修正対象リスト23に出力して（ステップS39）、ステップS37以降の処理を繰り返す。これにより、属性 a から派生したパターン属性の頂点座標データがすべて、修正対象リスト23に格納される。

【0081】

そして、 $n > a + (\text{パターン数} - 1)$ となると、 a から $a + (\text{パターン数} - 1)$ までの属性のデータテーブルをバッファ51、52、53から図11のファイル41、42、43に出力して（ステップS40）、 n が最終属性の属性番号かどうかを判定する（ステップS41）。属性 n が最終属性でなければ、 $n=n+1$ とにおいて（ステップS42）、ステップS31以降の処理を繰り返す。

【0082】

ステップS34において、属性 n がパターン属性でなければ、次に、 $b=1$ とおき（図19、ステップS43）、属性 n の頂点座標データ n と、ファイル41

内の上位属性bの頂点座標データbを比較して(ステップS44)、すべての頂点座標が一致するかどうかを判定する(ステップS45)。一致しない頂点が1つでもあれば、頂点座標データbがファイル41内の最終レコードかどうかを判定する(ステップS46)。

【0083】

頂点座標データbが最終レコードでなければ、 $b = b + 1$ とおき(ステップS47)、ステップS44以降の処理を繰り返す。そして、ステップS45において、頂点座標データnと頂点座標データbが一致すれば、これらの属性nと属性bは図6のような関係にあるものとみなす。

【0084】

そこで、属性nのデータテーブルを削除対象リスト22に出力し(ステップS48)、属性bのデータテーブルを削除対象リスト22に出力する(ステップS49)。そして、属性nのデータテーブルをバッファ51、52、53からファイル41、42、43に出力して(ステップS50)、ステップS41以降の処理を行う。

【0085】

ステップS46において、頂点座標データbが最終レコードであれば、属性nと同じ形状の上位属性は存在しないものとみなし、次に、 $c = 1$ とおき(図20、ステップS51)、属性nの頂点座標データnと、ファイル41内の上位属性cの頂点座標データcを比較して(ステップS52)、断面形状の頂点座標が一致するかどうかを判定する(ステップS53)。

【0086】

図15の頂点座標データの場合は、{ }内の座標値のうちX座標値とY座標値が断面形状の頂点座標に相当する。一致しない頂点が1つでもあれば、頂点座標データcがファイル41内の最終レコードかどうかを判定する(ステップS54)。

【0087】

頂点座標データcが最終レコードでなければ、 $c = c + 1$ とおき(ステップS55)、ステップS52以降の処理を繰り返す。そして、ステップS53におい

て、断面形状の頂点座標が一致すれば、これらの属性 n と属性 c は 1 つの属性に集約可能とみなす。

【0088】

そこで、定義情報データ n から高さ h_n を取得し（ステップ S56）、ファイル 43 内の上位属性 c の定義情報データ c から高さ h_c を取得して（ステップ S57）、 h_c に h_n を加算した結果を改めて h_c とおき、属性 c の高さを変更する（ステップ S58）。これにより、例えば、図 4 のような関係にある 2 つの属性を 1 つに集約することができる。

【0089】

次に、属性 n のデータテーブルを削除対象リスト 22 に出力し（ステップ S59）、属性 c の定義情報データ c に変更後の高さ h_c を記述して修正対象リスト 23 に出力する（ステップ S60）。そして、属性 n のデータテーブルをバッファ 51、52、53 からファイル 41、42、43 に出力して（ステップ S61）、ステップ S41 以降の処理を行う。

【0090】

ステップ S54 において、頂点座標データ c が最終レコードであれば、属性 n と断面形状が同じ上位属性は存在しないものとみなし、次に、 $d = 1$ とおき（図 21、ステップ S62）、属性 n の配置位置データ n を参照して、属性 n の配置面情報を取得する（ステップ S63）。

【0091】

そして、ファイル 42 内の上位属性 d の配置位置データ d に記述された配置面情報と、属性 n の配置面情報を比較して（ステップ S64）、配置面が一致するかどうかを判定する（ステップ S65）。それらが一致しなければ、配置位置データ d がファイル 42 内の最終レコードかどうかを判定する（ステップ S66）。

【0092】

配置位置データ d が最終レコードでなければ、 $d = d + 1$ とおき（ステップ S67）、ステップ S64 以降の処理を繰り返す。そして、ステップ S65 において、配置面が一致すれば、次に、ファイル 43 内の上位属性 d の定義情報データ

dと定義情報データnとを比較して(ステップS68)、それらが完全に一致するかどうかを判定する(ステップS69)。定義情報データnと定義情報データdが一致すれば、これらの属性nと属性dは、同じ配置面上にある同じタイプおよび高さの形状を表すため、1つの属性に集約可能とみなす。

【0093】

そこで、属性nの頂点座標データnを属性dの追加情報として修正対象リスト23に出力し(ステップS70)、属性nのデータテーブルを削除対象リスト22に出力する(ステップS71)。これにより、例えば、図10のような関係にある2つの属性を1つに集約することができる。そして、属性nのデータテーブルをバッファ51、52、53からファイル41、42、43に出力して(ステップS72)、ステップS41以降の処理を行う。

【0094】

ステップS66において、配置位置データdが最終レコードである場合、または、ステップS69において、定義情報データnと定義情報データdが一致しない場合は、属性nと同じ配置面上に属性nと同じタイプおよび高さの上位属性は存在しないものとみなす。

【0095】

そこで、次に、配置位置データnを参照して、属性nの配置面を持つ上位属性eの情報を取得し(図22、ステップS73)、定義情報データnを参照して、属性nの高さ h_n を取得し(ステップS74)、定義情報データeを参照して、属性eの高さ h_e を取得する(ステップS75)。そして、属性nと属性eの配置面が一致するかどうかを判定する(ステップS76)。

【0096】

配置面が一致すれば、次に、 $h_n - h_e$ を計算し、それが0かどうかを判定する(ステップS77)。 $h_n - h_e = 0$ でなければ、属性nと属性eは1つに集約できないものとみなし、属性nのデータテーブルをバッファ51、52、53からファイル41、42、43に出力して(ステップS78)、ステップS41以降の処理を行う。

【0097】

$h_n - h_e = 0$ であれば、属性nと属性eは、少なくとも配置面と高さが一致しているため、1つに集約できる可能性がある。そこで、頂点座標データnを参照して、属性nの断面積 A_n を算出し（ステップS81）、ファイル41内の頂点座標データeを参照して、属性eの断面積 A_e を算出して（ステップS82）、 A_n と A_e を比較する（ステップS83）。図15の頂点座標データの場合は、{ }内の座標値のうちX座標値とY座標値を用いて、断面積を計算することができる。

【0098】

$A_n < A_e$ であれば、属性nは属性eの断面形状を変更する役割を果たしているものとみなし、頂点座標データnを属性eの追加情報として修正対象リスト23に出力し（ステップS84）、属性nのデータテーブルを削除対象リスト22に出力する（ステップS85）。これにより、例えば、図8のような関係にある2つの属性を1つに集約することができる。そして、属性nのデータテーブルをバッファ51、52、53からファイル41、42、43に出力して（ステップS86）、ステップS41以降の処理を行う。

【0099】

また、 $A_n \geq A_e$ であれば、属性nは属性eを打ち消す役割を果たしているものとみなし、属性nと属性eのデータテーブルを削除対象リスト22に出力して（ステップS87）、ステップS86以降の処理を行う。これにより、例えば、図9のような関係にある2つの属性を削除することができる。

【0100】

ステップS76において、配置面が一致しなければ、次に、 $h_n + h_e$ を計算し、それが0かどうかを判定する（ステップS79）。 $h_n + h_e = 0$ でなければ、属性nと属性eは1つに集約できないものとみなし、属性nのデータテーブルをバッファ51、52、53からファイル41、42、43に出力して（ステップS80）、ステップS41以降の処理を行う。

【0101】

$h_n + h_e = 0$ であれば、属性nと属性eは、少なくとも属性eの1つの面上で接しており、高さの絶対値が同じで符号が逆であるため、1つに集約できる可

能性がある。そこで、ステップ S 8 1 以降の処理を行う。このような処理を繰り返し、ステップ S 4 1 において属性 n が最終属性となれば、処理を終了する。

【0102】

図 15 のソリッドモデルデータの場合は、まず、属性 [1] のデータテーブルが読み込まれるが、これは最初に生成されたベース属性であり、パターン属性ではないので、冗長属性として検出されず、そのままファイル 4 1、4 2、4 3 に出力される。次に、属性 [2]、[3] のデータテーブルが読み込まれるが、これらも冗長属性として検出されず、そのままファイル 4 1、4 2、4 3 に出力される。

【0103】

次に、属性 [4] のデータテーブルが読み込まれる。属性 [4] の頂点座標データは属性 [2] の頂点座標データと一致するため、図 19 のステップ S 4 5 の判定により検出され、これらの属性のデータテーブルは削除対象リスト 2 2 に出力される。また、属性 [2] のデータテーブルはファイル 4 1、4 2、4 3 にも出力される。次に、属性 [5] のデータテーブルが読み込まれるが、これは冗長属性として検出されず、そのままファイル 4 1、4 2、4 3 に出力される。

【0104】

次に、属性 [6] のデータテーブルが読み込まれる。属性 [6] は、図 18、19、20 のいずれの処理においても冗長属性として検出されず、また、図 21 のステップ S 6 5 の判定においても、いずれの上位属性とも配置面が一致しない。したがって、次に、図 22 のステップ S 7 3 において、属性 [6] の配置面を持つ属性 [5] の情報が取得され、ステップ S 7 4、S 7 5 において、属性 [6] と属性 [5] の高さ h が取得される。

【0105】

これらの属性の配置面は一致していないので、次に、ステップ S 7 9 において、得られた 2 つの高さ h が加算され、加算結果が 0 になるかどうかチェックされる。ここでは、属性 [6] の高さ h が 5 であり、属性 [5] の高さ h が -5 であるので、加算結果は 0 となる。

【0106】

そこで、次に、ステップS81、S82において、属性[6]と属性[5]の断面積が算出される。ここでは、属性[6]の断面形状は、一辺の長さが30の正方形であるので、その面積 A_n は900となり、属性[5]の断面形状は、一辺の長さが50の正方形であるので、その面積 A_e は2500となる。したがって、ステップS83において、 $A_n < A_e$ が成り立つ。

【0107】

そこで、ステップS84において、チェック中の属性[6]の頂点座標データが上位属性[5]の追加情報として修正対象リスト23に出力され、属性[6]は属性[5]に集約される。これにより、属性[6]のデータテーブルは不要となるため、ステップS85において、削除対象リスト22に出力される。こうして、図16、17に示したような削除対象リストと修正対象リストが作成される。

【0108】

ところで、構造解析等に設計モデルを活用する場合は、各属性の配置の基準位置を表す配置基準が変更されても、特に問題はない。このような場合は、必要に応じて配置基準を変更して、モデルを再構築する。図14の例では、属性[3]の配置基準が属性[2]を含んでいるため、このままでは属性[2]を削除することができない。しかし、配置基準を変更することで、属性[2]と属性[4]を同時に削除することが可能になり、データ量をより圧縮できる。

【0109】

新たな配置基準としては、例えば、削除されない既存の属性を配置基準として用いたり、作業用の擬似平面を定義したりすることが考えられる。図14においては、ベース属性である属性[1]は削除されないので、これを属性[3]の配置基準として用いることができる。

【0110】

また、図14において、XY平面、YZ平面、およびZX平面を配置基準の擬似平面として用いる場合は、これらの3つの平面を最初の3つの属性として定義する。そして、後続するすべての属性の配置基準をこれらの擬似平面に設定すれば、属性間の依存関係（親子関係）を完全に解除することができる。

【0111】

構造最適化部14は、図16の削除対象リストと図17の修正対象リストを参照しながら図13の処理を行って、ソリッドモデルデータの属性番号順に属性を再生する。まず、属性[1]は、どちらのリストにも記述されていないので、そのまま再生され、属性[2]は、削除対象リストに記述されているので、そのデータはスキップされて、再生されない。

【0112】

次に、属性[3]は、どちらのリストにも記述されていないので、再生の対象となる。しかし、配置基準である属性[2]が削除されているため、そのままでは配置位置を設定することができない。

【0113】

そこで、演算部15は、削除対象リストにある属性[2]の配置位置データと頂点座標データを用いて、属性[3]の配置基準となっている属性[2]のエッジと、既存の属性[1]のエッジとの距離を自動算出する。そして、構造最適化部14は、計算結果を用いて、配置基準を属性[2]のエッジから属性[1]のエッジに変更する。このとき、属性番号が3から2に変更される。

【0114】

次に、属性[4]は、削除対象リストに記述されているので再生されず、属性[5]は、修正対象リストに記述されているので、そのままでは再生されない。ここでは、属性[5]自身の頂点座標データに、修正対象リストに記述されている追加頂点データが付加され、変更された形状が再生される。このとき、属性番号が5から3に変更される。

【0115】

次に、属性[6]は、削除対象リストに記述されているので、再生されない。したがって、最終的には、図23に示すような3つの属性が残される。図23において、属性[1]は元の属性[1]に対応し、属性[2]は配置位置が修正された元の属性[3]に対応し、属性[3]は頂点座標が修正された元の属性[5]に対応する。

【0116】

ここでは、属性 [3] の配置基準を属性 [1] に変更して再生しているが、上述のような作業平面を配置基準として用いることもできる。この場合、演算部 15 は、XYZ 座標系の原点を基準として、3 つの擬似的な作業平面を自動的に定義し、これらの作業平面と属性 [3] の距離を自動算出する。そして、構造最適化部 14 は、計算結果を用いて、属性 [3] の配置基準を作業平面に変更する。例えば、XY 平面、YZ 平面、および ZX 平面は、それぞれ、 $Z=0$ 、 $X=0$ 、 $Y=0$ という簡単な情報により定義することができる。

【0117】

この方法によれば、3 つの作業平面が 3 つの擬似的な属性として追加されるため、最終的には 6 つの属性から成るソリッドモデルデータが出力される。しかし、作業平面の属性は、頂点座標データ、配置位置データ、定義情報データを必要とせず、そのデータ量は非常に小さいため、再生されたソリッドモデルのデータ量は大幅に削減されている。

【0118】

このように配置基準を変更することでソリッドモデルデータを最適化することができるが、配置基準が変更できない場合もあり得る。例えば、数値制御加工装置 (NC マシン) による製品加工において、製品の形状を表す NC データ作成用に設計モデルを活用する場合は、配置基準が変更されると、装置の動作に問題が発生する。

【0119】

このような場合は、削除対象の属性と形状／配置が同じ擬似的な補助線 (カーブ) を定義し、この補助線からの距離を設定して、配置基準を保持したままでモデルを再生することが望ましい。この方法では、本来削除すべき属性を補助線で置き換えるため、上述の再生例ほどのデータ圧縮率は望めない。しかし、補助線自身のデータ量は元の属性に比べて少ないため、ある程度のデータ圧縮が実現される。

【0120】

この場合、構造最適化部 14 は、図 16 の削除対象リストと図 17 の修正対象リストを参照しながら、次のようにしてソリッドモデルデータを再生する。まず

、属性〔1〕は、どちらのリストにも記述されていないので、そのまま再生され、属性〔2〕は、削除対象リストに記述されているので、再生されない。

【0121】

次に、属性〔3〕は、どちらのリストにも記述されていないので、再生の対象となる。しかし、配置基準である属性〔2〕が削除されているため、そのままでは配置位置を設定することができない。

【0122】

そこで、演算部15は、削除対象リストにある属性〔2〕の配置位置データと頂点座標データを用いて、属性〔3〕の配置基準となっている属性〔2〕のエッジを含む補助線を自動生成する。そして、構造最適化部14は、計算結果を用いて、配置基準を属性〔2〕のエッジから補助線に変更する。

【0123】

これにより、図24に示すような補助線61が生成され、そのデータテーブルは、属性〔2〕の属性番号を用いて、例えば、図25に示すように設定される。図25のデータテーブルと図15の属性〔2〕のデータテーブルを比較すると、図25では頂点座標データの数が削減され、定義情報データが削除されていることが分かる。補助線61は、属性〔3〕の配置基準として必要な情報を保持しているため、属性〔3〕の配置位置データは変更されない。

【0124】

次に、属性〔4〕は、削除対象リストに記述されているので再生されず、属性〔5〕は、修正対象リストに記述されているので、そのままでは再生されない。ここでは、属性〔5〕自身の頂点座標データに、修正対象リストに記述されている追加頂点データが付加され、変更された形状が再生される。このとき、属性番号が5から4に変更される。また、属性〔6〕は、削除対象リストに記述されているので、再生されない。したがって、最終的には、補助線61を含めて4つの属性が残される。

【0125】

以上説明した実施形態においては、3次元モデルの例としてソリッドモデルを用いているが、ワイヤーフレームモデルやサーフェスモデル等の他の任意のモデ

ルについても、本発明を適用することが可能である。また、削除対象リスト 22 には、必ずしも削除対象の属性のデータテーブルを出力する必要はなく、その属性の属性番号を出力するのみでもよい。

【0126】

図 2 のモデル最適化装置は、例えば、図 26 に示すような情報処理装置（コンピュータ）を用いて構成することができる。図 26 の情報処理装置は、CPU（中央処理装置）71、メモリ 72、入力装置 73、出力装置 74、外部記憶装置 75、媒体駆動装置 76、およびネットワーク接続装置 77 を備え、それらはバス 78 により互いに接続されている。

【0127】

メモリ 72 は、例えば、ROM (read only memory)、RAM (random access memory) 等を含み、処理に用いられるプログラムとデータを格納する。CPU 71 は、メモリ 72 を利用してプログラムを実行することにより、必要な処理を行う。

【0128】

図 2 の不要属性検出部 12、構造最適化部 14、および演算部 15 は、プログラムにより記述されたソフトウェアコンポーネントに対応し、メモリ 72 内の特定のプログラムコードセグメントに格納される。また、図 2 の記憶部 13 は、メモリ 72 内の特定の記憶領域に対応する。

【0129】

入力装置 73 は、例えば、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等であり、ユーザからの指示や情報の入力に用いられる。出力装置 74 は、例えば、ディスプレイやプリンタ等であり、ユーザへの問い合わせ、処理結果等の出力に用いられる。

【0130】

外部記憶装置 75 は、例えば、磁気ディスク装置、光ディスク装置、光磁気ディスク (magneto-optical disk) 装置等である。この外部記憶装置 75 に、上述のプログラムとデータを保存しておき、必要に応じて、それらをメモリ 72 にロードして使用することもできる。また、外部記憶装置 75 は、ソリッドモデルデ

ータを格納するデータベースの役割も果たす。

【0131】

媒体駆動装置 76 は、可搬記録媒体 79 を駆動し、その記録内容にアクセスする。可搬記録媒体 79 としては、メモリカード、フロッピーディスク、CD-ROM (compact disk read only memory)、光ディスク、光磁気ディスク等、任意のコンピュータ読み取り可能な記録媒体が用いられる。この可搬記録媒体 79 に上述のプログラムとデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ 72 にロードして使用することもできる。

【0132】

ネットワーク接続装置 77 は、LAN (local area network) 等の任意のネットワーク (回線) を介して外部の装置と通信し、通信に伴うデータ変換を行う。また、必要に応じて、上述のプログラムとデータを外部の装置から受け取り、それらをメモリ 72 にロードして使用することもできる。

【0133】

図 27 は、図 26 の情報処理装置にプログラムとデータを供給することのできるコンピュータ読み取り可能な記録媒体を示している。可搬記録媒体 79 や外部のデータベース 80 に保存されたプログラムとデータは、メモリ 72 にロードされる。そして、CPU 71 は、そのデータを用いてそのプログラムを実行し、必要な処理を行う。

【0134】

【発明の効果】

本発明によれば、データ量が小さく編集自由度が高いソリッドモデルを自動的に構築することが可能となる。これにより、ハードディスク等の資源の有効活用が図られ、ディスプレイ上での表示速度も改善される。また、編集自由度が高いため、設計者が交替した場合や第三者がモデルを用いた他の作業を行う場合でも、モデルを容易に変更することができる。

【0135】

さらに、埋め込み等の二重属性が自動的に削除されるため、解析用のメッシュデータを作成する際に、メッシュ分割の確実性が高まると同時に、微小形状の生

成を未然に防止することができる。したがって、解析作業の作業時間が大幅に削減される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明のモデル最適化装置の原理図である。

【図 2】

モデル最適化装置の構成図である。

【図 3】

第 1 の属性を示す図である。

【図 4】

第 2 の属性を示す図である。

【図 5】

ソリッドモデルデータの構造を示す図である。

【図 6】

第 1 の埋め込みを示す図である。

【図 7】

深さの変更を示す図である。

【図 8】

断面形状の変更を示す図である。

【図 9】

第 2 の埋め込みを示す図である。

【図 10】

高さが同じ複数の属性を示す図である。

【図 11】

不要属性検出部の処理のフローチャート（その 1）である。

【図 12】

不要属性検出部の処理のフローチャート（その 2）である。

【図 13】

構造最適化部の処理のフローチャートである。

【図 14】

ソリッドモデルの例を示す図である。

【図 15】

第 1 のソリッドモデルデータを示す図である。

【図 16】

削除対象リストを示す図である。

【図 17】

修正対象リストを示す図である。

【図 18】

検出処理のフローチャート（その 1）である。

【図 19】

検出処理のフローチャート（その 2）である。

【図 20】

検出処理のフローチャート（その 3）である。

【図 21】

検出処理のフローチャート（その 4）である。

【図 22】

検出処理のフローチャート（その 5）である。

【図 23】

第 2 のソリッドモデルデータを示す図である。

【図 24】

補助線を示す図である。

【図 25】

補助線のデータを示す図である。

【図 26】

情報処理装置の構成図である。

【図 27】

記録媒体を示す図である。

【符号の説明】

- 1 検出手段
 - 2 削減手段
 - 3 構築手段
 - 11 ソリッドモデル最適化装置
 - 12 不要属性検出部
 - 13 記憶部
 - 14 構造最適化部
 - 15 演算部
 - 21 ソリッドモデルデータ
 - 22 削除対象リスト
 - 23 修正対象リスト
 - 24 最適化ソリッドモデルデータ
 - 25、26、27、28、31、32、33、34、35、37、38、39
- 属性
- 36 配置面
 - 41 頂点座標データファイル
 - 42 配置位置データファイル
 - 43 定義情報データファイル
 - 51 頂点座標データバッファ
 - 52 配置位置データバッファ
 - 53 定義情報データバッファ
 - 61 補助線
 - 71 CPU
 - 72 メモリ
 - 73 入力装置
 - 74 出力装置
 - 75 外部記憶装置
 - 76 媒体駆動装置
 - 77 ネットワーク接続装置

78 バス

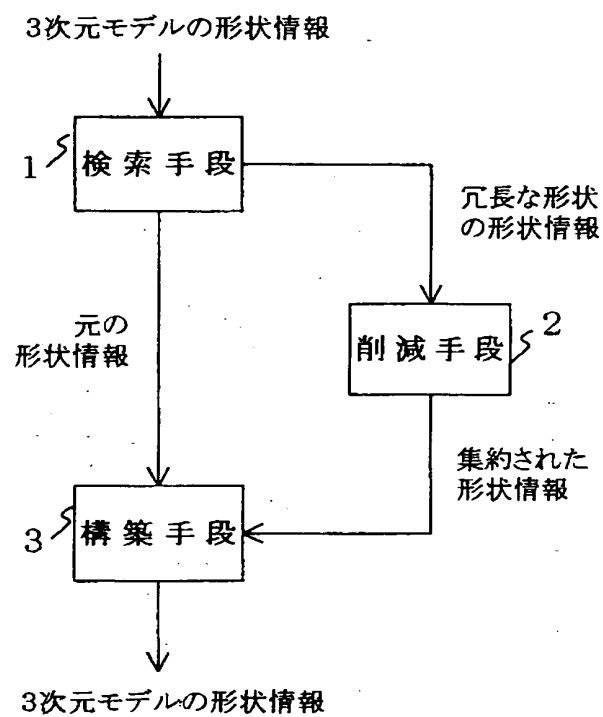
79 可搬記録媒体

80 データベース

【書類名】 図面

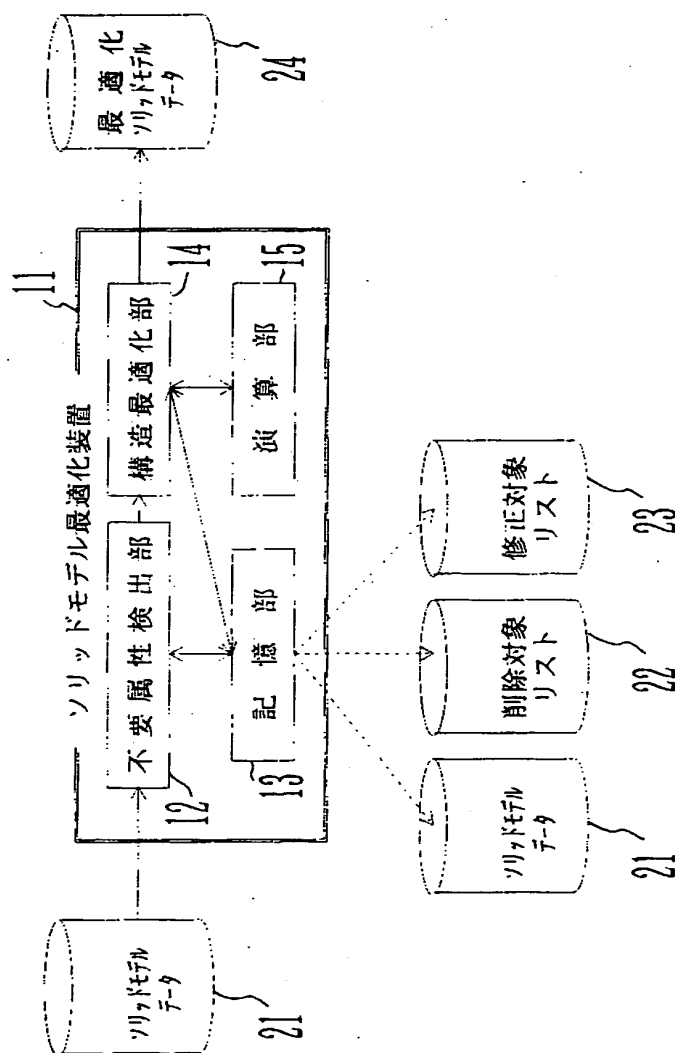
【図1】

本発明の原理図



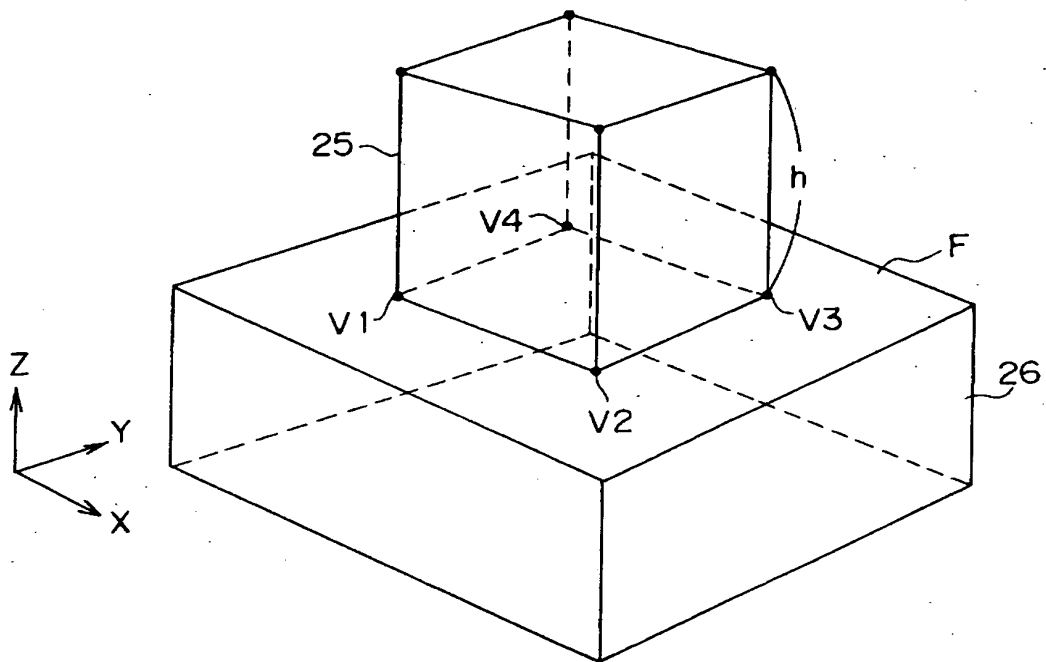
【図2】

モデル最適化装置の構成図



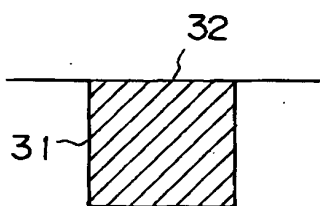
【図3】

第1の属性を示す図



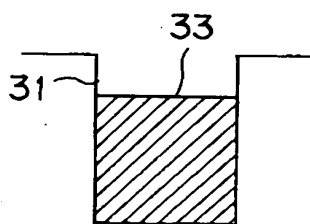
【図6】

第1の埋め込みを示す図



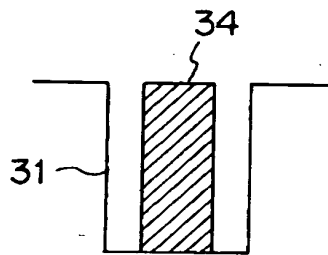
【図7】

深さの変更を示す図



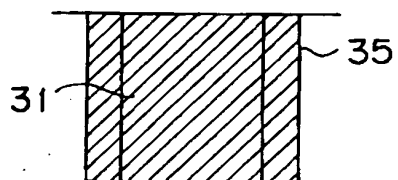
【図8】

断面形状の変更を示す図



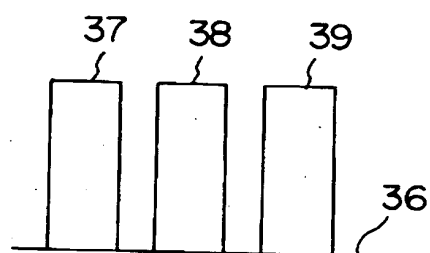
【図9】

第2の埋込みを示す図



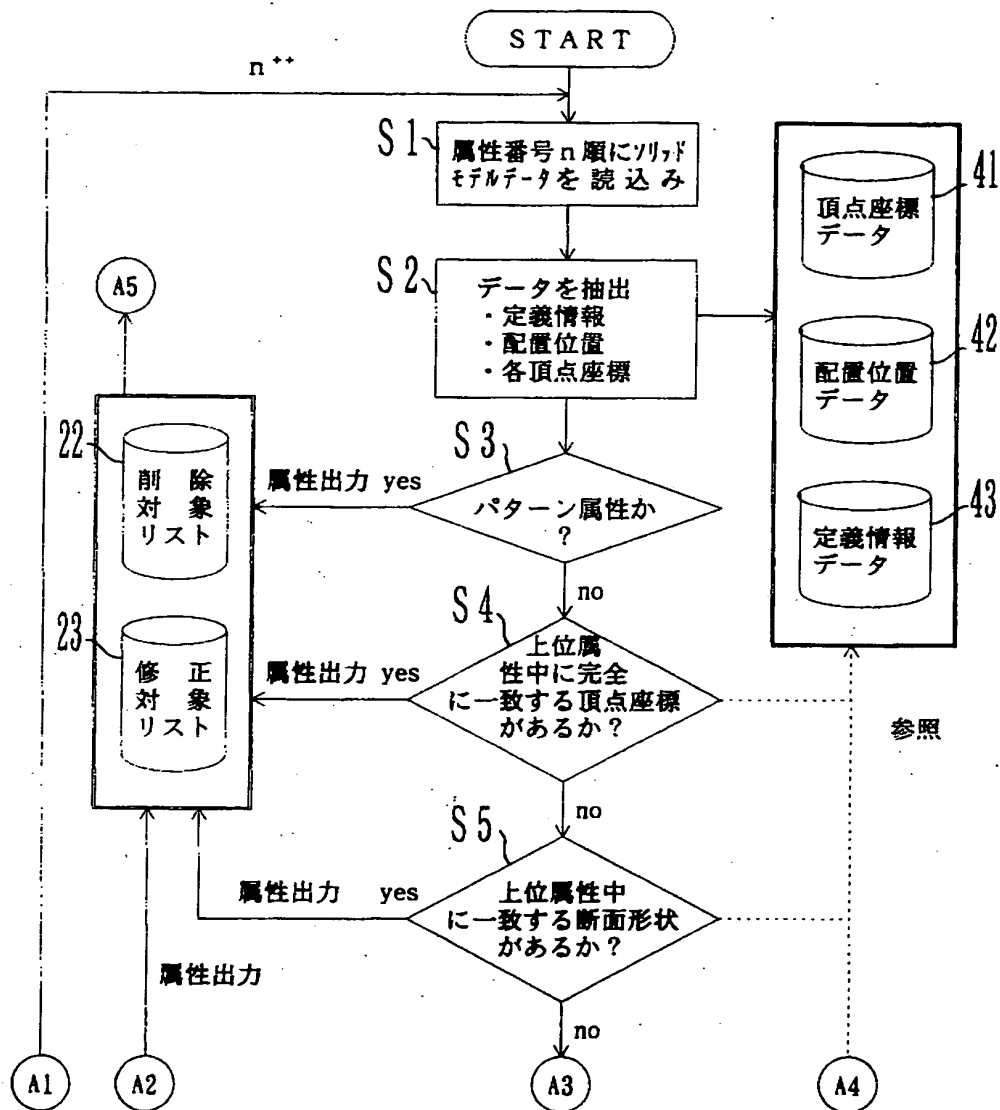
【図10】

高さと同じ複数の属性を示す図



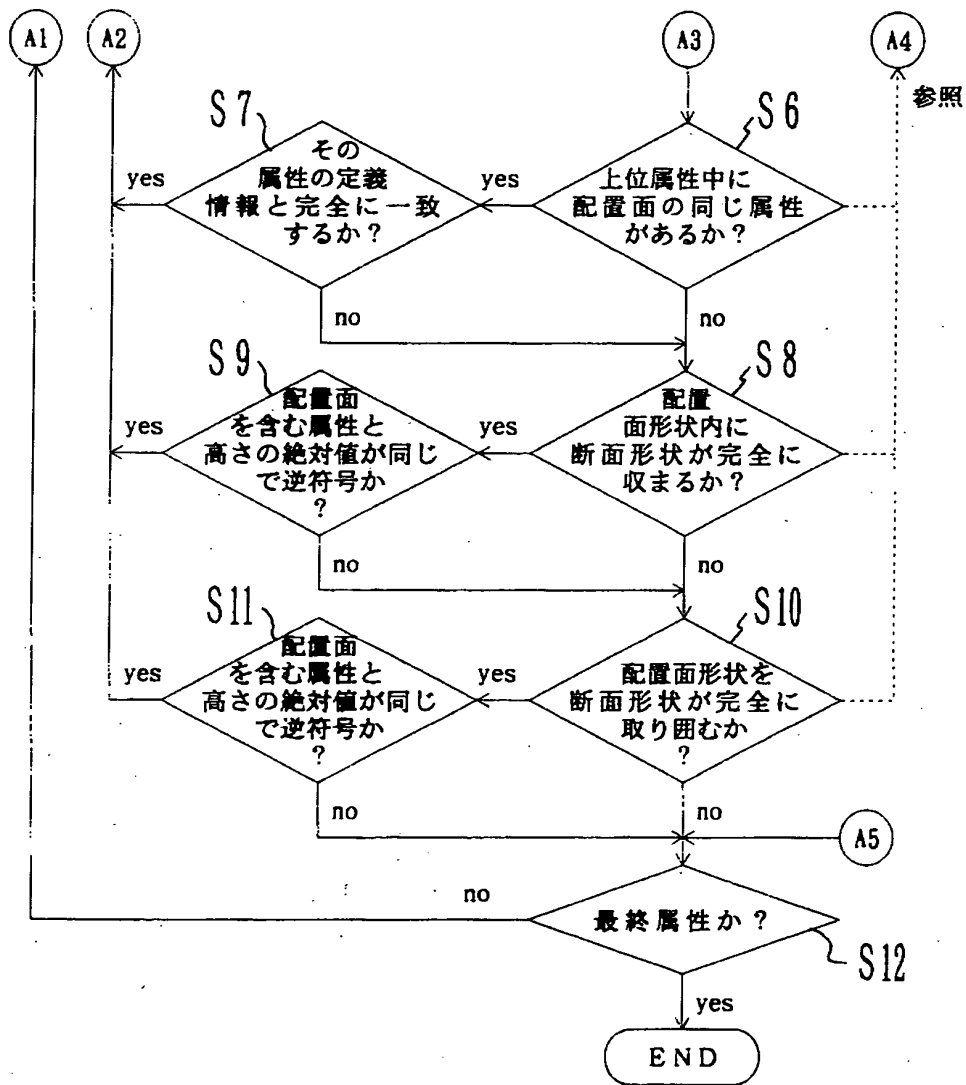
【図11】

不要属性検出部の処理のフローチャート（その1）



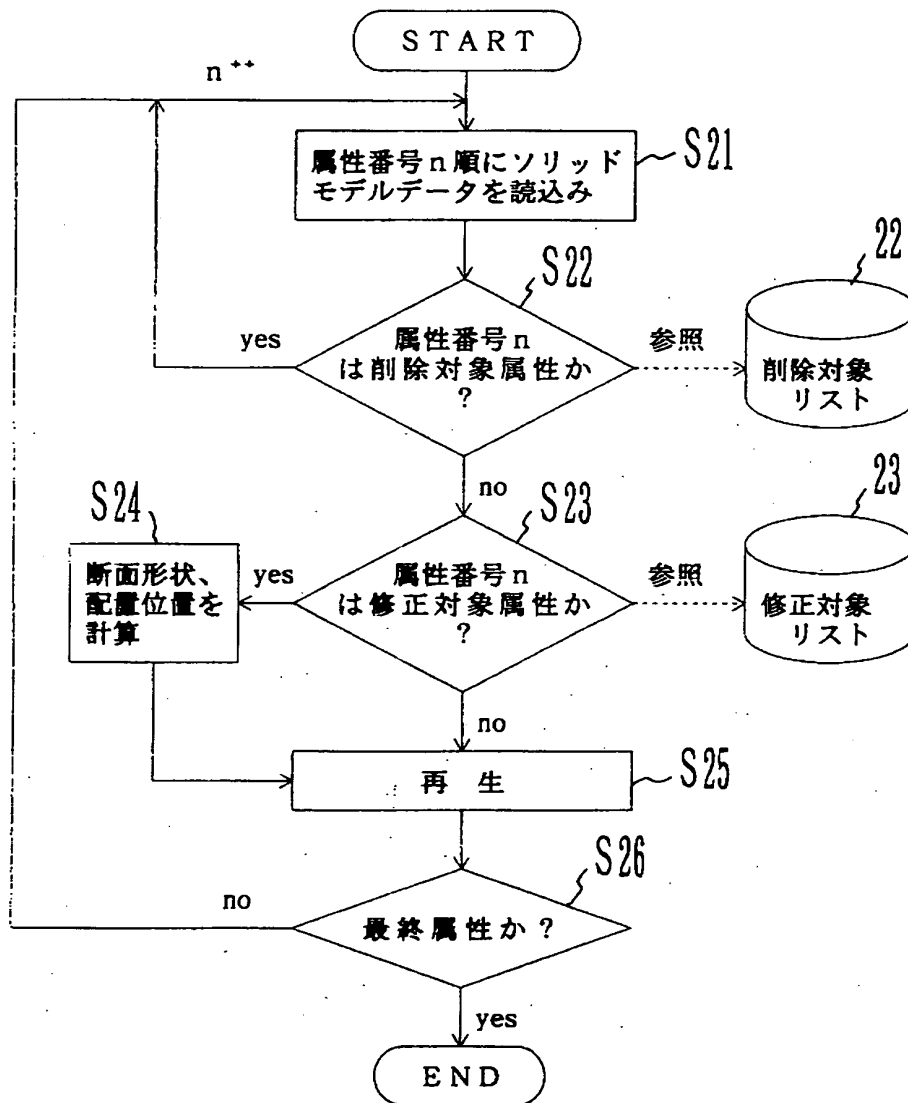
【図 12】

不要属性検出部の処理のフローチャート（その 2）



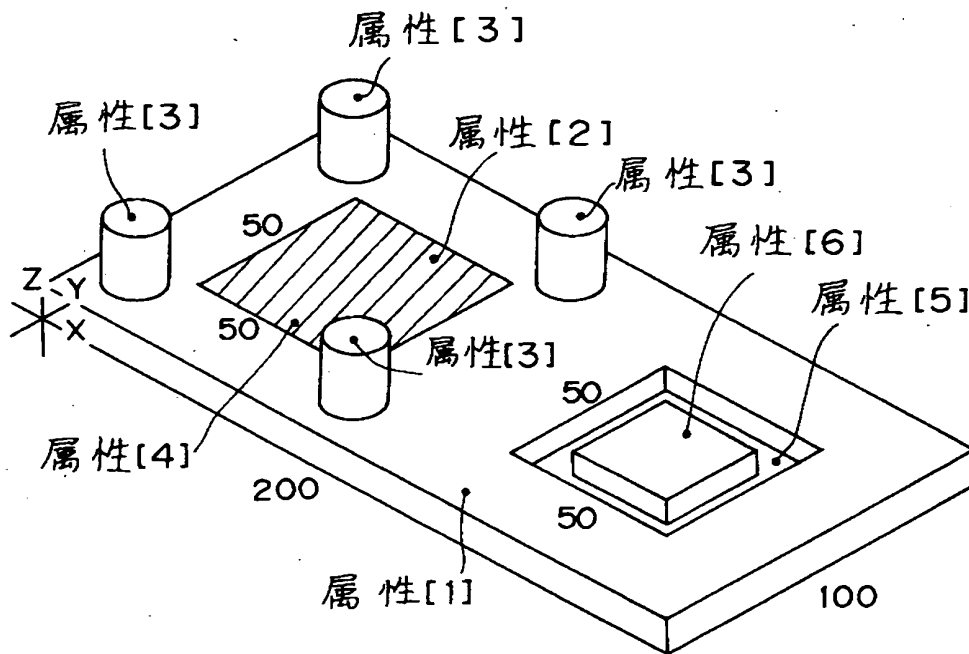
【図13】

構造最適化部の処理のフローチャート



【図14】

ソリッドモデルの例を示す図



【図 15】

第1のソリッドモデルデータを示す図

番号	項目	データ
1	頂点座標	(0,0,0),(200,100,0),(0,100,0),(0,0,10),(200,0,10),(200,100,10),(0,100,10)
	配置位置	..
	定義情報	押し出し、押し出し、h=10
2	頂点座標	((25,25,10),(75,75,10),(25,75,10),(25,25,0),(75,25,0),(75,75,0),(25,75,0)
	配置位置	1:F1,1:E1-25,1:E2-25
	定義情報	カット、押し出し、h=10
3	頂点座標	((12.5,12.5,10),(12.5,12.5,40),(87.5,12.5,10),(87.5,12.5,40),(87.5,87.5,10),(87.5,87.5,40),(12.5,87.5,10),(12.5,87.5,40)
	配置位置	1:F1,2:E1-12.5,2:E2-12.5
	定義情報	押し出し、押し出し、h=30
4	頂点座標	((25,25,10),(75,25,10),(75,75,10),(25,75,10),(25,25,0),(75,25,0),(75,75,0),(25,75,0)
	配置位置	1:F2,1:E5-25,1:E6-25
	定義情報	押し出し、押し出し、h=10
5	頂点座標	((125,25,10),(175,25,10),(175,75,10),(125,75,10),(125,25,5),(175,25,5),(175,75,5),(125,75,5)
	配置位置	1:F1,1:E1-125,1:E2-25
	定義情報	カット、押し出し、h=-5
6	頂点座標	((135,35,5),(165,35,5),(165,65,5),(135,65,5),(135,35,10),(165,35,10),(165,65,10),(135,65,10)
	配置位置	5:F1,1:E1-10,1:E2--10
	定義情報	押し出し、押し出し、h=5

【図 16】

削除対象リストを示す図

番 号	項 目	デ ー タ
2	頂点座標	((25,25,10),(75,25,10),(75,75,10),(25,75,10),(25,25,0),(75,25,0),(75,75,0),(25,75,0))
	配置位置	1:F1, 1:E1-25, 1:E2-25
	定義情報	カット、押し出し、h=-10
4	頂点座標	((25,25,10),(75,25,10),(75,75,10),(25,75,10),(25,25,0),(75,25,0),(75,75,0),(25,75,0))
	配置位置	1:F2, 1:E5-25, 1:E6-25
	定義情報	押し出し、押し出し、h=10
6	頂点座標	((135,35,5),(165,35,5),(165,65,5),(135,65,5),(135,35,10),(165,35,10),(165,65,10),(135,65,10))
	配置位置	5:F1, 1:E1-10, 1:E2-10
	定義情報	押し出し、押し出し、h=5

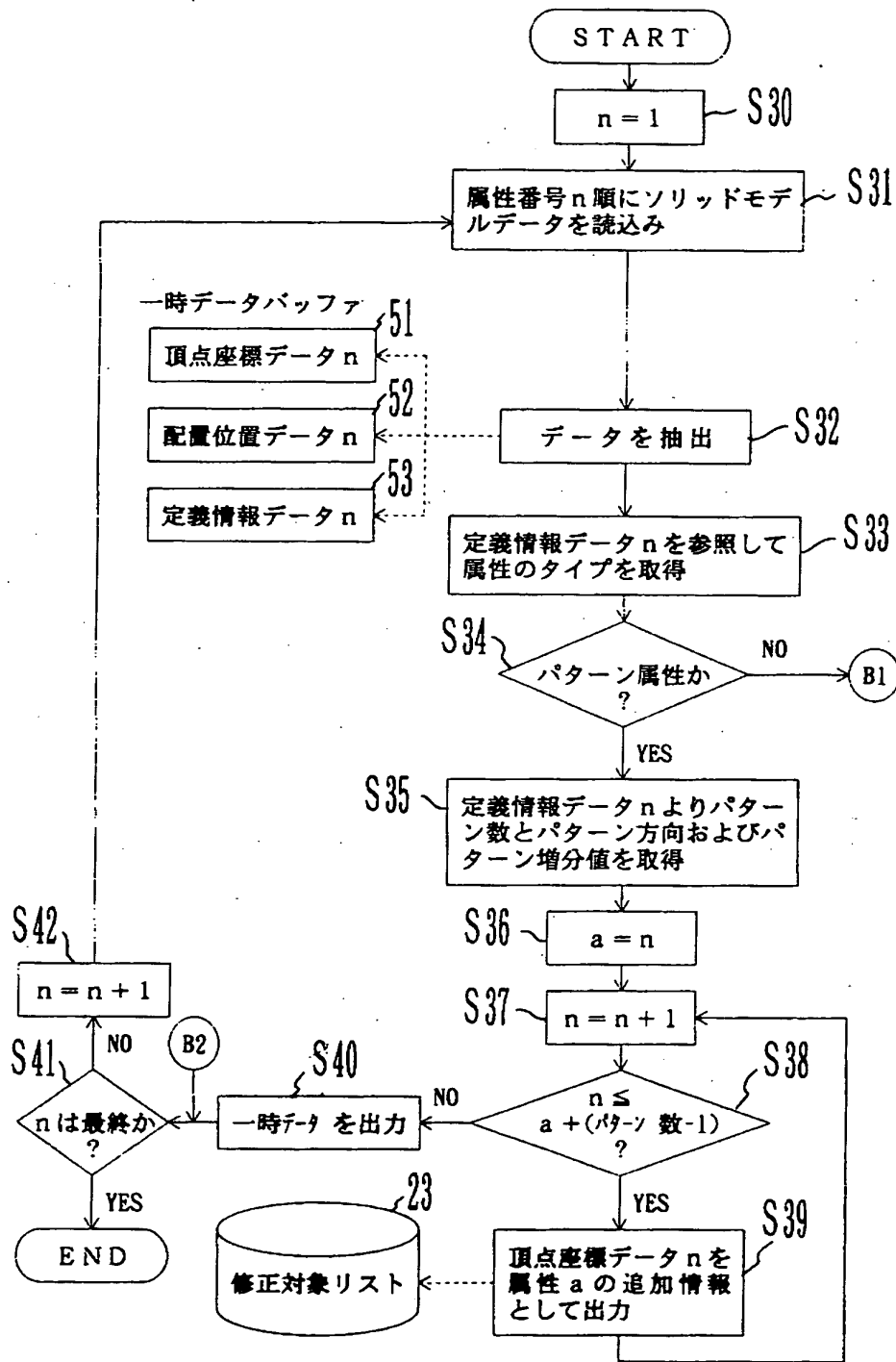
【図17】

修正対象リストを示す図

番号	項目	データ
5	追加頂点	((135,35,5),(165,35,5),(165,65,5),(135,65,5))((135,35,10),(165,35,10),(165,65,10),(135,65,10))

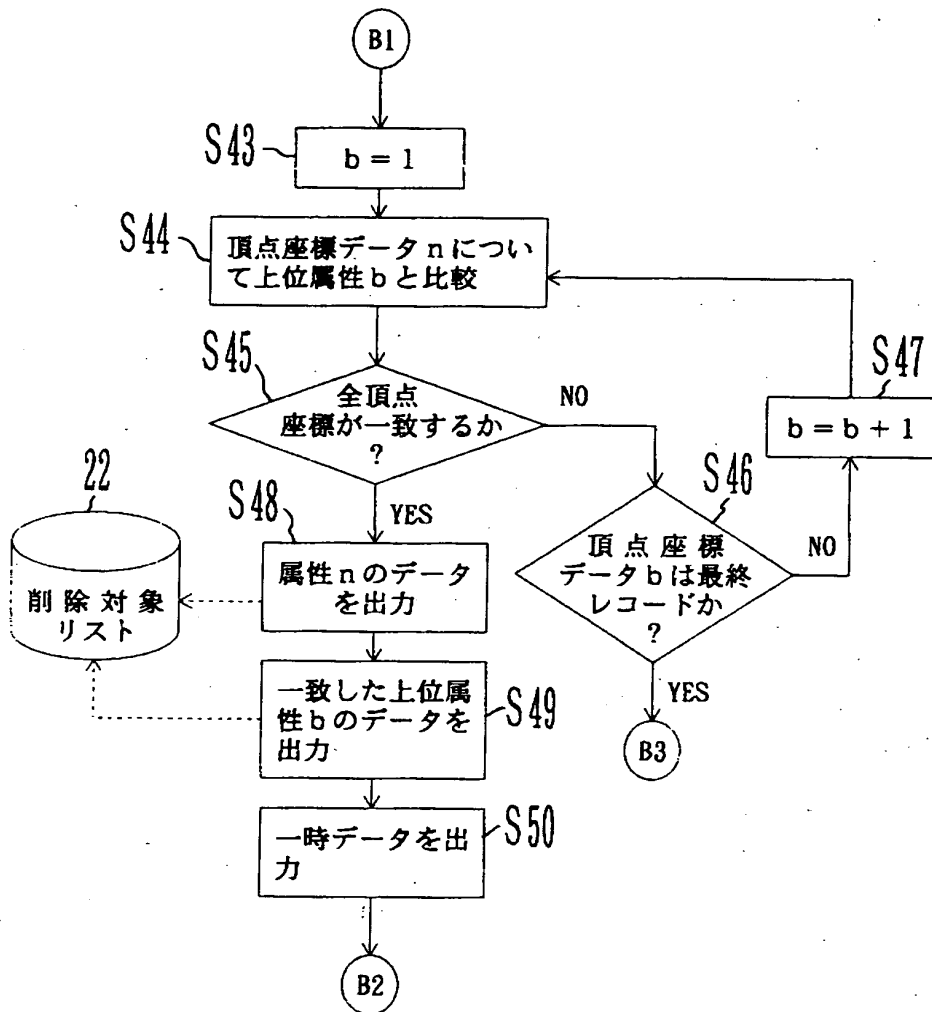
【図18】

検出処理のフローチャート(その1)



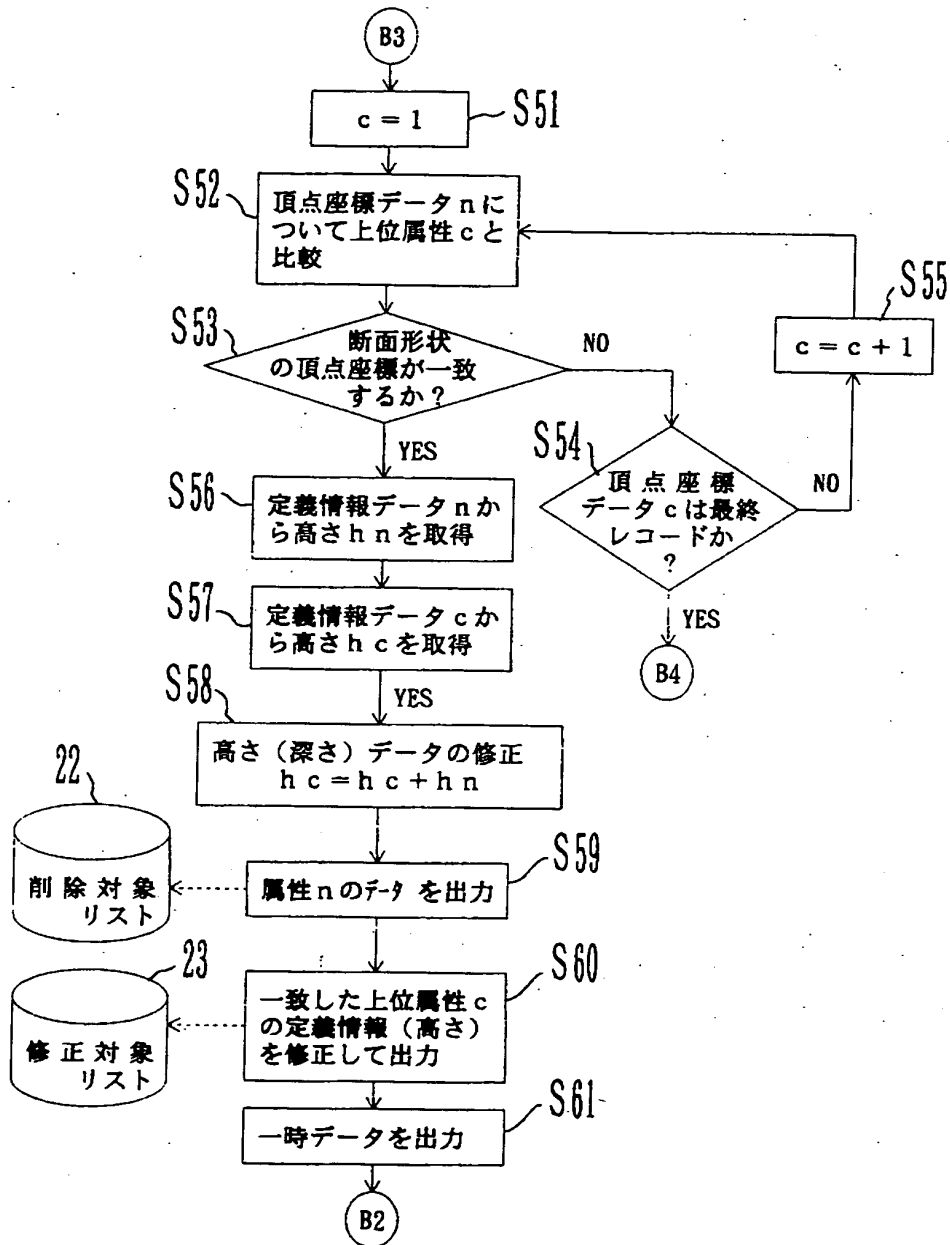
【図19】

検索処理のフローチャート（その2）



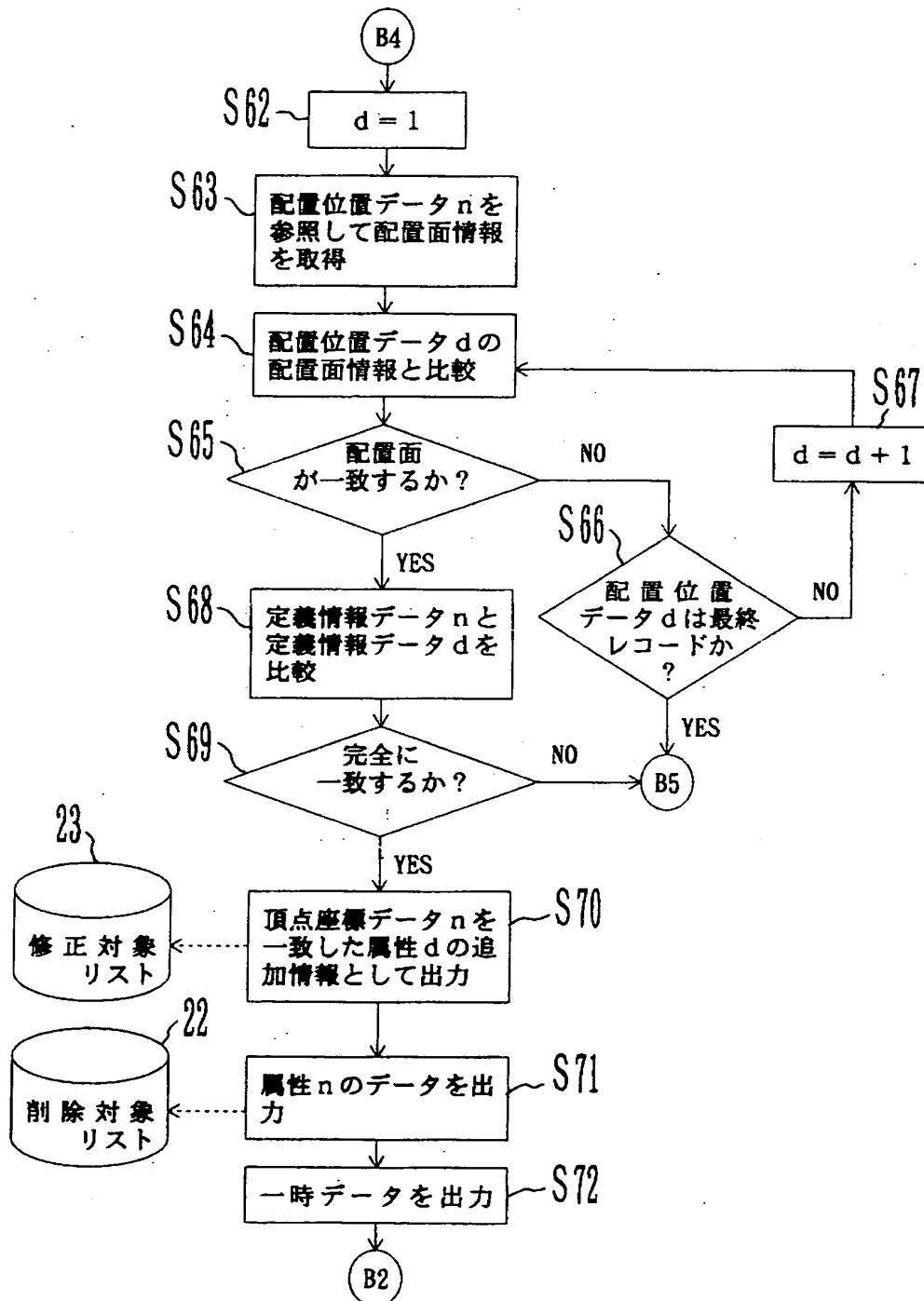
【図20】

検出処理のフローチャート（その3）



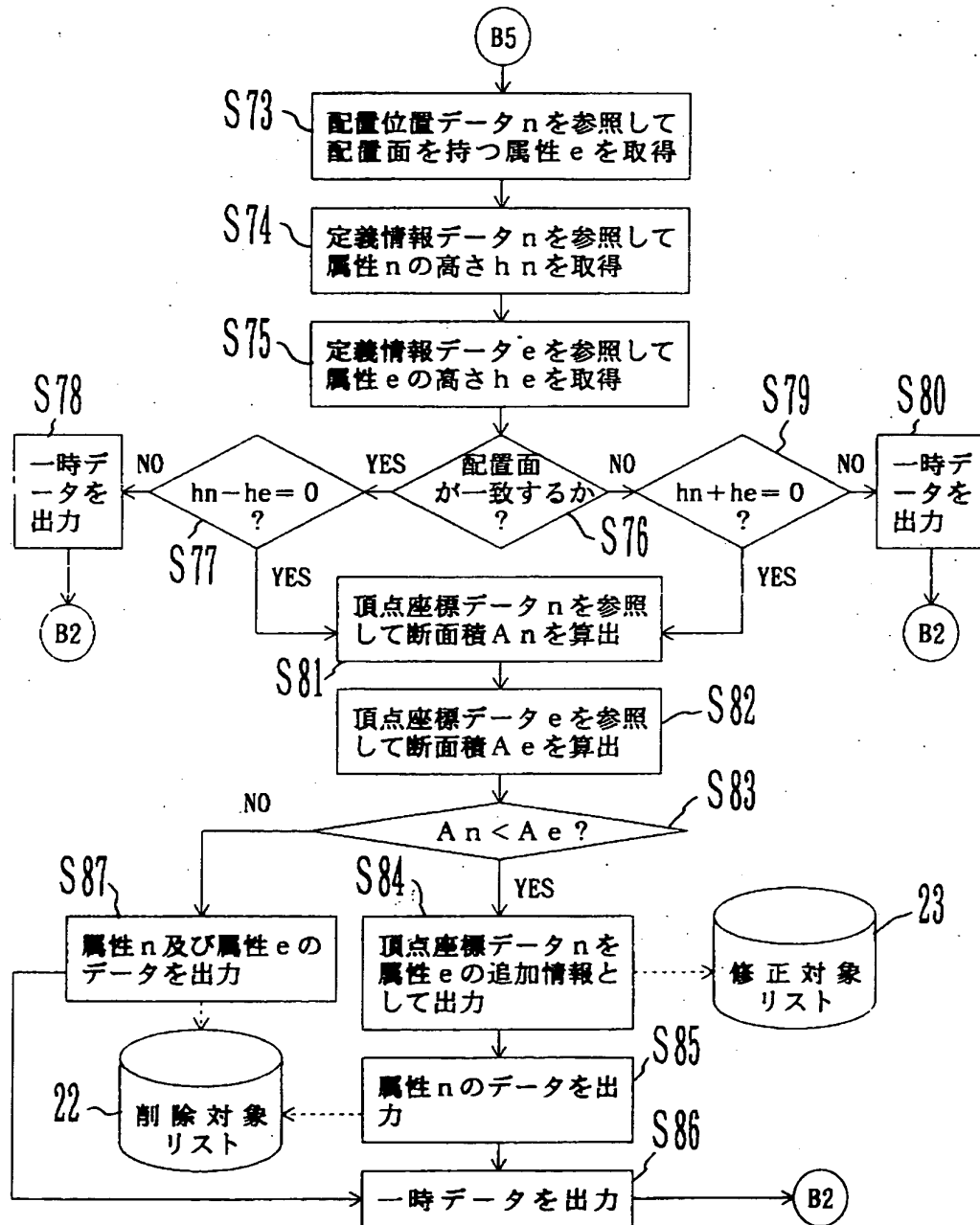
【図 21】

検出処理のフローチャート（その 4）



【図 22】

検出処理のフローチャート（その 5）



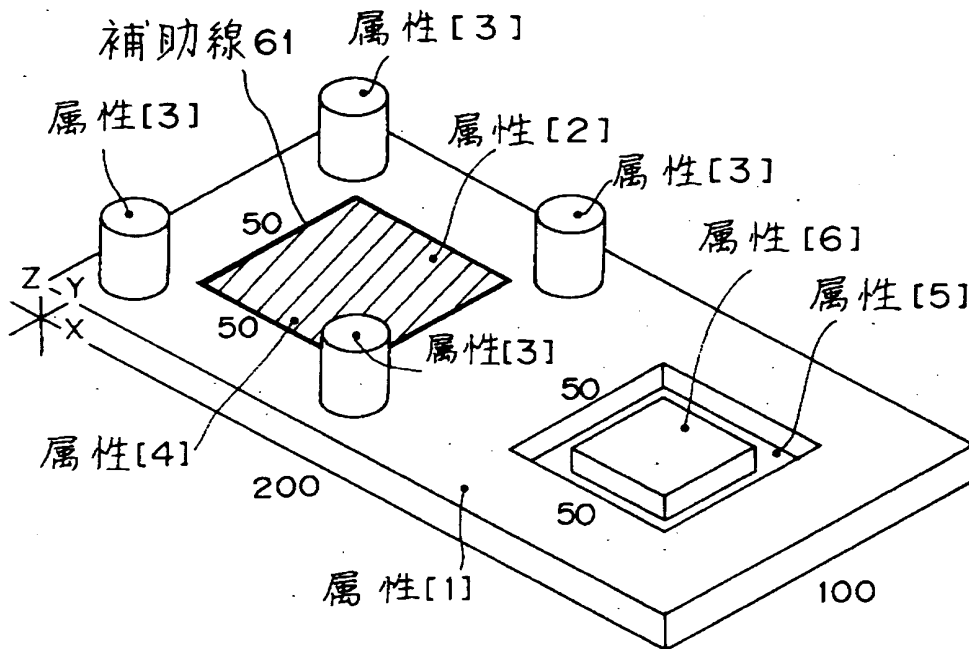
【図 23】

第2のソリッドモデルデータを示す図

番号	項目	データ
1	頂点座標	(0,0,0),(200,0,0),(200,100,0),(0,100,0),(0,100,10)
	配置位置	--
	定義情報	押し出し、押し出し、h=10
2	頂点座標	(12.5,12.5,10),(12.5,12.5,40),(87.5,12.5,10),(87.5,12.5,40),(87.5,87.5,10),(87.5,87.5,40),(12.5,87.5,10),(12.5,87.5,40)
	配置位置	1:F1, 1:F1-12.5, 1:F2 12.5
	定義情報	押し出し、押し出し、h=30
3	頂点座標	(125,25,10),(175,25,10),(175,75,10),(125,75,10),(125,25,5),(175,25,5),(175,75,5),(125,75,5)
	配置位置	1:F1, 1:E1-125, 1:E2-25
	定義情報	カット、押し出し、h=-5

【図24】

補助線を示す図



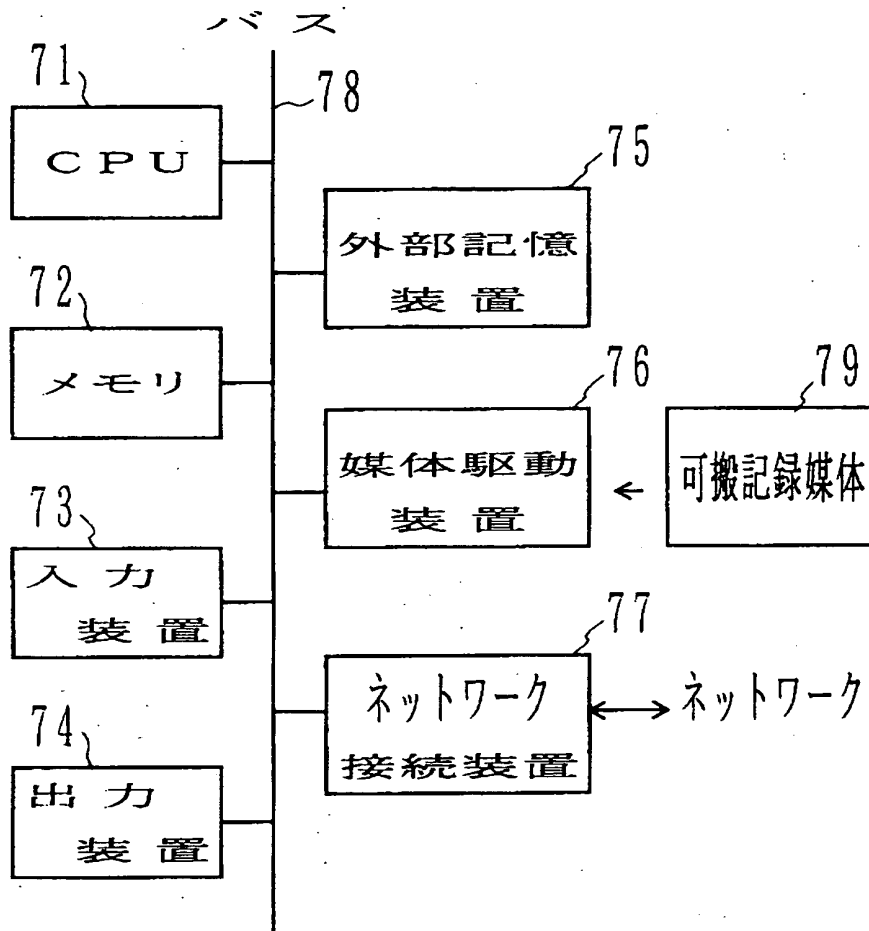
【図25】

補助線のデータを示す図

番号	項目	データ
2	頂点座標	{{(25,25,10),(75,25,10),(75,75,10),(25,75,10)}}
	配置位置	1:F1, 1:E1-25, 1:E2-25
	定義情報	—

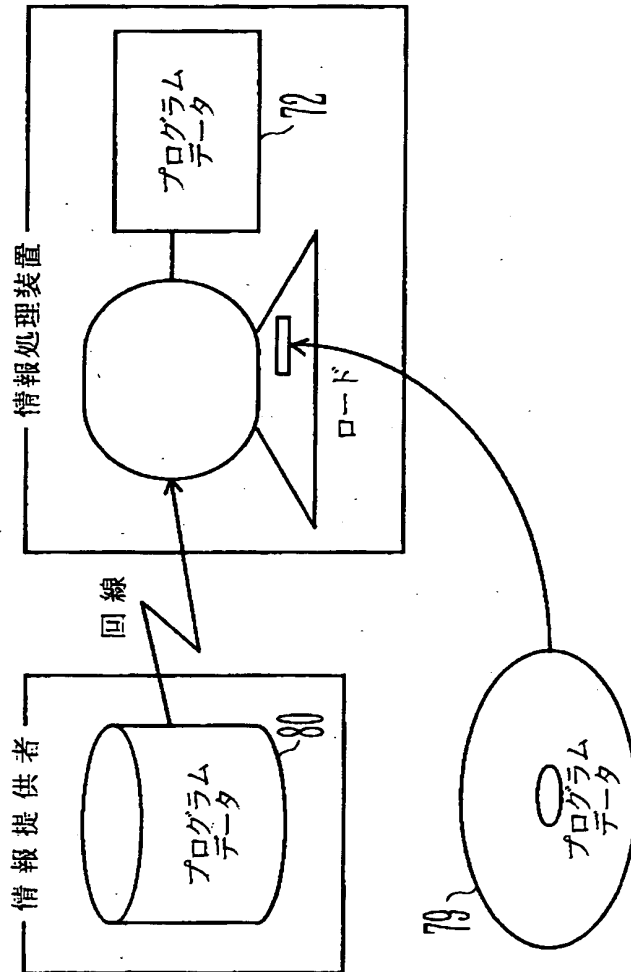
【図26】

情報処理装置の構成図



【図27】

記録媒体を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 3次元モデルの構造を最適化して、データ量が小さく編集自由度が高いモデルを生成することが課題である。

【解決手段】 ソリッドモデルを構成する属性の中から、四角穴の属性〔2〕と四角柱の属性〔4〕のように、埋め込みの関係にある不要な属性を自動的に検出し、それらのデータを削除する。また、四角穴の属性〔5〕と四角柱の属性〔6〕のように、1つの属性で置き換えられる2つ以上の属性を自動的に検出し、それらのデータを集約する。そして、残されたデータを用いて、ソリッドモデルを再構築する。

【選択図】 図14

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100074099

【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F
大菅内外国特許事務所

【氏名又は名称】 大菅 義之

【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区太尾町1418-305 (大倉山二番館) 久木元特許事務所

【氏名又は名称】 久木元 彰

特平10-198453

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社